日機連２５ものづくり

平成２５年度
ロボット産業・技術の振興に関する
調査研究報告書

平成２６年３月

一般社団法人　日本機械工業連合会

この報告書は、競輪の補助金により作成しました。

http://ringring-keirin.jp

KEIRIN

序

先進ロボット技術は、我が国が得意とするエレクトロニクス、機械工学、素材技術、情報技術など幅広い要素技術の集積として構成されるものであり、世界最先端のロボット技術力を有する我が国が、ロボット産業を新しい我が国の基幹産業の一つに成長させることに加え、世界に先駆けて生活、福祉、防災・復興支援等のサービス分野においてもロボットの実用化を図っていくことは、21 世紀の我が国の経済社会にとって重要な課題でもあります。

また、先進ロボット開発から生み出される高機能・次世代技術は、我が国産業の国際的な競争力を高めていく上で欠かせないものであります。

こうした背景に鑑み、当会ではロボット大賞審査・運営委員会を設置し、「ロボット産業・技術の振興に関する調査研究」を実施いたしました。
本報告書は、委員会の平成 25 年度の研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

最後に委員会の活動の中で、ロボット産業・技術の振興策や表彰事業の実施要領等について貴重なご意見を頂いた委員・オブザーバー各位並びに調査取り纏めにご尽力を頂いた日刊工業新聞社殿に厚く御礼を申し上げます。

平成 26 年 3 月
一般社団法人　日本機械工業連合会
会 長　　岡 村　正

は　し　が　き

平成 23 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生し、地震や津波の影響で東京電力福島第一原子力発電所から放射能が洩れました。我が国が開発した災害対応ロボットの活躍が期待されたものの、残念ながらこの度の原発事故には迅速な対応ができませんでした。

しかし、現在では、数多くの関係者のご尽力のお蔭で、日本のロボット技術は、東日本大震災の被災地でもしっかり活用されております。

なお、原子力災害については、すべてが初めてのことであり、廃炉プロセスが終了するまでの数十年もの間、開発しなければならない技術的課題も山積しております。

また、少子高齢化社会に対応すべく、医療・福祉・介護ロボットの開発・普及促進や社会インフラ整備のための建設・維持管理ロボットの開発等も喫緊の課題となっております。

一方、産業用ロボットの領域では、新興国での需要拡大、医療品・化粧品・食品等の新たな分野での普及・促進といったロボットを取り巻く変化に対応し、我が国のロボット競争力強化のためには、知能化等による高機能化やロボットシステムインテグレータの育成等が喫緊の重要課題となっております。

上記の諸課題を解決する手段の１つとして、ロボット開発者等の表彰事業が有効であると考えております。表彰することによって、開発者等のモチベーション高揚とロボットを使用する側のロボットの理解を深めることにより、上記課題の早期解決が期待できます。

以上の背景のもと、本委員会で産業用ロボット、サービスロボット、公共・特殊環境ロボット等の動向や課題を概観した上で、経済産業省・日機連が実施しているロボット表彰事業（ロボット大賞）の実施要領等について提言しております。

本報告書がロボットの更なる普及促進やロボット産業の振興にお役にたてることを期待しております。

ロボット大賞審査・運営委員会
委員長　　淺間　一

平成２５年度　ロボット大賞審査・運営委員会
名　　簿

［委員長］

淺間　一	東京大学大学院　工学系研究科　精密工学専攻　教授

［副委員長］

比留川　博久	（独）産業技術総合研究所　知能システム研究部門　研究部門長

［委員］

石黒　周	ロボットビジネス推進協議会　幹事
金岡　克弥	立命館大学 総合科学技術研究機構 先端ロボティクス研究センター チェアプロフェッサー
黒田　洋司	明治大学　理工学部　機械工学科　教授
小平　紀生	（一社）日本ロボット学会　会長
小西　康晴	㈱ロボリューション　代表取締役
谷川　民生	（独）産業技術総合研究所　知能システム研究部門　統合知能研究グループ　研究グループ長
平井　慎一	立命館大学　理工学部　ロボティクス学科　教授
宮下　敬宏	㈱国際電気通信基盤技術研究所　ネットワークロボット研究室　室長
村上　弘記	（公社）計測自動制御学会　システムインテグレーション部門　部門長
吉見　卓	芝浦工業大学　工学部　電気電子学群　電気工学科　教授

［オブザーバー］

須藤　治	経済産業省　製造産業局　産業機械課長
北島　明文	経済産業省　製造産業局　産業機械課　課長補佐
川邊　智史	経済産業省　製造産業局　産業機械課　技術係長
矢内　重章	（一社）日本ロボット工業会　総務部長　兼　業務部担当部長

［調査機関］

清水　信好	日刊工業新聞社　業務局　イベント事業部　部長
今堀　崇弘	日刊工業新聞社　事業出版部（ロボット担当）
林　英雄	日刊工業新聞社　業務局　イベント事業部
阿部　沙織	日刊工業新聞社　業務局　イベント事業部

［主催事務局］

安本　皓信	(一社)日本機械工業連合会　副会長兼専務理事
石坂　清	(一社)日本機械工業連合会　常務理事
倉持　安孝	(一社)日本機械工業連合会

※敬称略　順不同

Summary

本報告は、我が国のロボット産業・技術の振興に向けて、現在の市場や技術動向をまとめ、課題を調査・分析したものである。

第 1 章では、本調査研究事業の背景と目的を明確にした。

第 2 章では、ロボット産業の現状について、国内市場と海外市場を比較し、ロボットメーカーおよび関連企業のアンケートをもとに今後の市場展開について言及した。

第 3 章では、産業用ロボットの技術トレンドと課題について取り上げたほか、安全柵設置条件の見直しとセーフティシステムインテグレーションについて言及した。

第 4 章では、先進ロボット開発の現状と課題について取り上げ、介護福祉ロボットや災害対応ロボットなどの動向についてまとめた。また、先進ロボット普及に向けた安全と標準化についてロボット大賞審査・運営委員会での議論を中心に記載した。

第 5 章では、「ロボット大賞」表彰事業の実績についてまとめたほか、今後の表彰事業の在り方を示した。

第 6 章では、ロボット大賞審査・運営委員会での検討内容を踏まえて、次回「第 6 回ロボット大賞」に向けての見直し案と提言を行った。

尚、本報告書は、（一社）日本機械工業連合会と日刊工業新聞社で構成を検討し、ロボット大賞審査・運営委員会の各委員の確認をいただいたうえで取りまとめた。

目次

１章　事業目的

1.1　調査研究の背景と目的

我が国における製造工場の現場や医療・福祉・介護、災害対応、食品・農業、各種生活支援分野等において、適用可能な基盤技術・部品等を含めた先進的ロボットの役割・機能・課題等を調査研究する。その結果等を踏まえて、当該先進ロボットの研究開発意欲の向上、社会的認知・普及などの対応策を講じることにより、当該先進ロボットの開発・普及を促進させ、ロボット産業の発展・業容拡大および安全･安心社会の早期実現に貢献することを目的とする。

また、日機連が実施している「ロボット大賞 審査・運営委員会」にて、先進ロボットの開発・普及を強化・促進する方策やロボット大賞表彰制度の推進方法等についても検討・提言することも目的としている。

【調査研究の目的】
・先進ロボットの社会実装に向けた課題解決と普及に向けた課題をまとめる
・ロボット産業の発展・業容拡大のための枠組みやあり方を議論する
・ロボット大賞の今度の運営について検討する

1.2　ロボット大賞 審査・運営委員会の開催

前述の目的達成のためにロボット大賞審査・運営委員会を開催した。

■第 1 回　ロボット大賞審査・運営委員会の開催
日時：平成 25 年 9 月 20 日（金）15：00～17：00
場所：機械振興会館 6 階　6D－1 会議室
内容：ロボット産業・技術の振興について
①昨年度の委員会活動の総括
②今年度の委員会活動計画について
③ロボット産業・技術の振興に関する現状と課題について
④その他

■第２回　ロボット大賞審査・運営委員会の開催

日時：平成 25 年 11 月 8 日（金）15：00～17：00

場所：東京ビッグサイト　東ホール２階　商談室３－２

内容：①名古屋大学・山田陽滋氏、長岡技術科学大学・木村哲也氏より
　　　安全・標準化の最新動向と課題についての講演と話題提供
　　②ロボット産業・技術の振興に関する現状と課題について
　　③ロボット大賞表彰事業の推進要領等について
　　④その他

■第３回　ロボット大賞審査・運営委員会の開催

日時：平成 26 年 1 月 22 日（水）15：30～17：30

場所：機械振興会館６階　6D-3 会議室

議題：①第６回ロボット大賞表彰事業（平成 26 年度）の推進要領等について
　　②今年度の調査研究報告書について
　　③その他

２章　ロボット産業の現状と課題

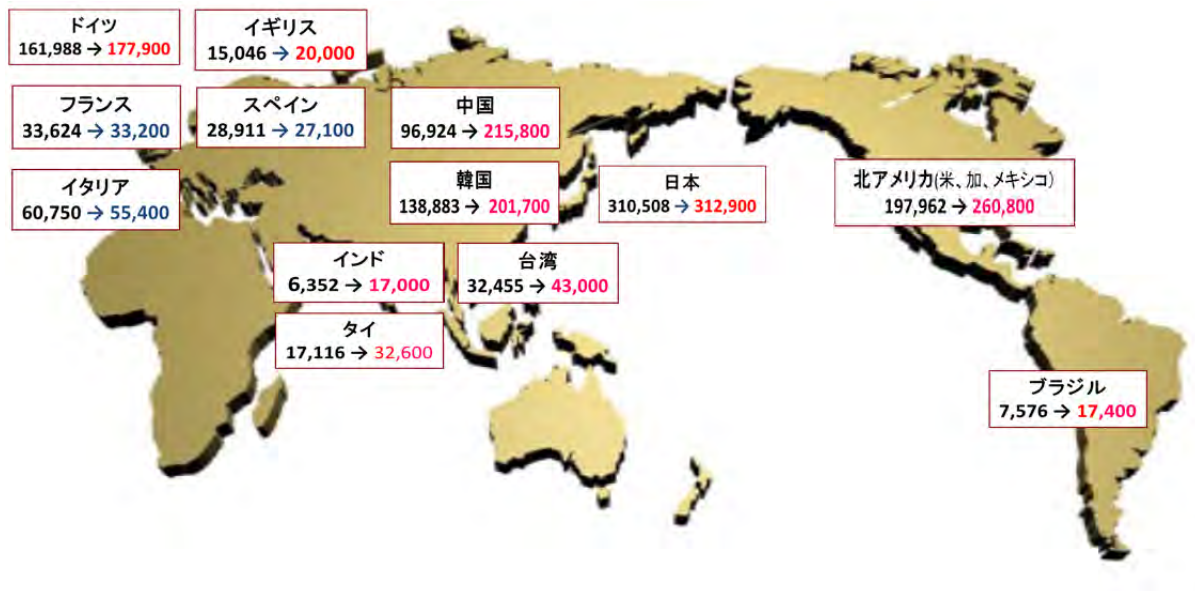
2.1　ロボット産業の現状

本節では、世界と我が国におけるロボット産業の動向を概説する。

2.1.1　世界における産業用ロボットの現状

国際ロボット連盟（IFR）は、2012 年の世界における産業用ロボットの販売台数が 15 万 9,346 台に達したと発表した。2010 年の販売台数 11 万 8,448 台と比較すると、2 年間で約４万台の増加となる。IFR の予測では、2015 年は 17 万 7,900 台、2016 年は 19 万 1,800 台と見込んでおり、今後も産業用ロボットの市場拡大が続くと予測される。

一方、世界における産業用ロボットの稼働台数は、2013 年に 130 万台を超えて、2015 年には、157 万台に達すると予測している。

国別の稼働台数では、日本が 31 万台とトップであるが、中国も成長が著しく 2016 年には、稼働台数が 21 万台に達すると予測している。また、インド、タイ、ブラジルなども積極的にロボットの導入を進めており、今後急速に自動化が進展することが期待される。

■図 2. 1. 1－1　主要地域・国の産業用ロボット稼働台数（2012 年）と予測（2016 年）

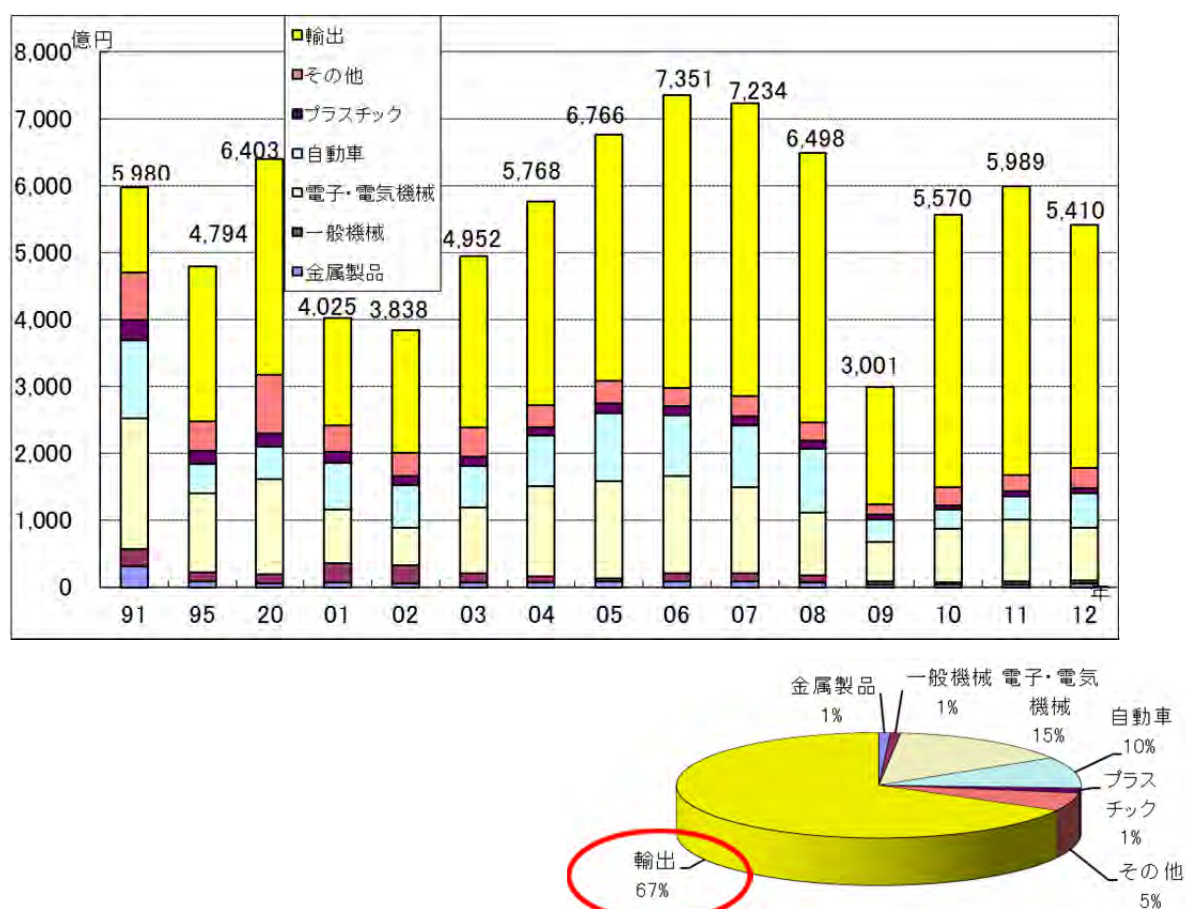
出所：国際ロボット連盟「World Robotics 2013」、(一社) 日本ロボット工業会「産業動向レポート 2013」

2.1.2　国内産業用ロボット市場の現状

国内産業用ロボットの現状を見ると、2012 年の生産額は国内向けと海外向けの合計で 5,410 億円に上り、2009 年のリーマンショック後、堅調に推移している。

日本ロボット工業会は、2013 年の生産額は 2012 年と横ばいの約 5,200 億円になるが、2014 年には前年比 15%増の約 6,000 億円に上ると見込んでいる。今後は自動車産業の好調継続や設備投資減税による国内投資の活性化により、2012 年から 2013 年にかけて低調だった電子部品実装機市場が回復すると予想される。

日本の産業用ロボット市場は、北米での自動車産業の好調や中国や新興国での販売増を受け好調に推移している。一方で電子部品実装機は半導体市場の低迷もあり、2012～2013 年の販売数は減少傾向にある。しかしながら、洗浄機や半導体搬送ロボットなど半導体製造の前工程に使われる製品では市場が動き始めており、2014 年の下期には実装機市場も回復が見込まれる。

一方、輸出割合では、2012 年の出荷ベースの内 67%を占めており、今後も 7 割前後の輸出割合が続くと思われる。

■図 2.1.2-1　ロボットの需要産業別出荷額推移

出所：(一社)日本ロボット工業会「産業動向レポート 2013」

日本ロボット工業会がまとめた2013年度の産業用ロボットの用途別出荷推移では、電子部品実装機は出荷低迷が続き、出荷台数で前年比11．6%減、自動車溶接に使われる溶接ロボットも国内投資の減退により出荷台数が4.5%減となった。

ただし、13年10月～12月期では出荷額・生産額は2四半期連続のプラスとなり、受注額もプラス成長が続いている。

2013年（1－12月）の産業用ロボット出荷台数実績

（日本ロボット工業会まとめ、会員分のみ）

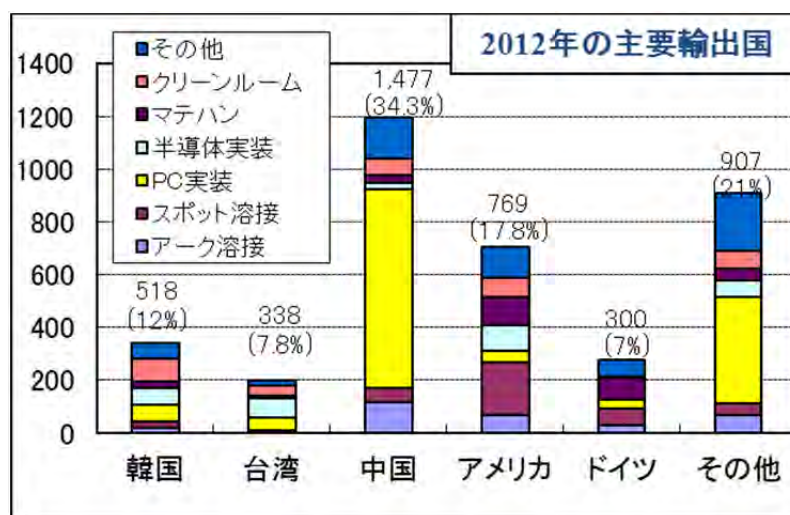
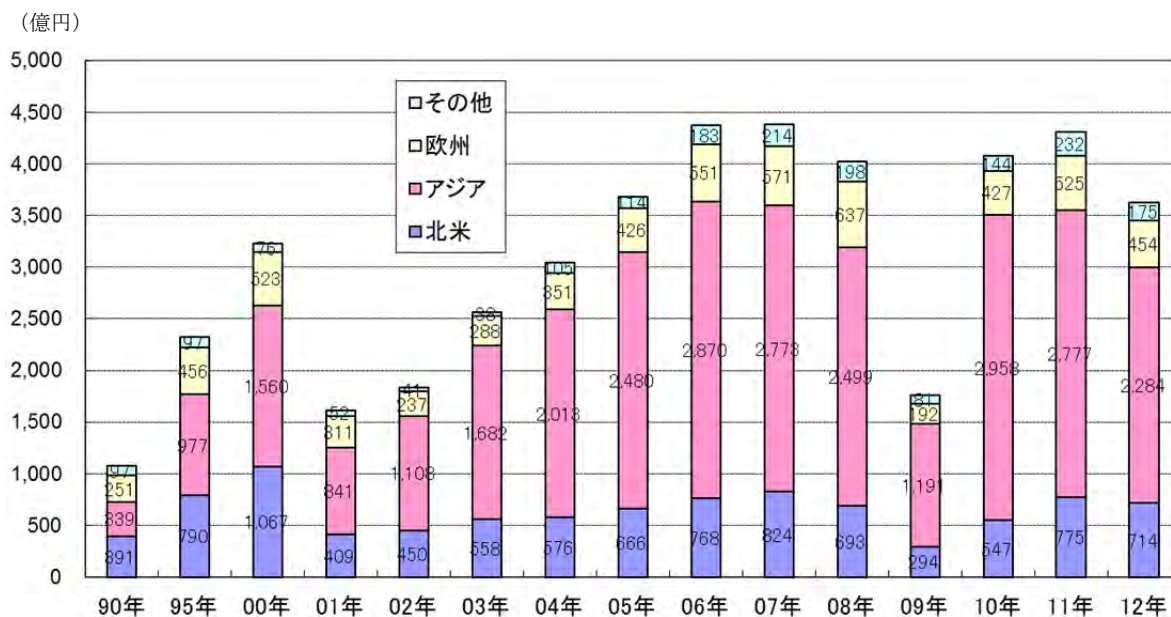
用途		国内	輸出	出荷計
樹脂成形		2,077（▼6.2）	4,713（▼8.4）	6,790（▼7.7）
溶接	アーク溶接	3,015（▼6.1）	14,268（▼5.5）	17,283（▼5.6）
	スポット溶接	2,514（▼22.2）	12,262（1.7）	14,776（▼3.3）
	レーザー溶接	42（－）	4（－）	46（－）
	その他溶接	29（－）	7（－）	36（－）
	合計（台数）	5,600（▼13.9）	26,541（▼2.3）	32,141（▼4.5）
	合計（金額）	25,581（▼13.3）	67,686（▼1.9）	93,268（▼5.3）
塗装		325（▼40.8）	1,252（9.6）	1,577（▼6.7）
機械加工	ロード・アンロード	1,103（▼8.7）	3,909（41.2）	5,012（26.0）
	機械的切断	4（－）	28（－）	32（－）
	研磨・バリ取り	124（－）	26（－）	150（－）
	その他機械加工	41（－）	10（－）	51（－）
	合計（台数）	1,272（▼10.9）	3,973（36.9）	5,245（21.1）
	合計（金額）	3,305（▼40.9）	6,597（1.2）	9,902（▼18.2）
電子部品実装		914（▼18.1）	7,258（▼10.7）	8,172（▼11.6）
組み立て	一般組み立て	4,216（▼15.9）	7,872（▼13.6）	12,088（▼14.4）
	その他組み立て	1,743（46.3）	453（5.3）	2,196（35.5）
	合計（台数）	5,959（▼3.9）	8,325（▼12.8）	14,284（▼9.3）
	合計（金額）	24,421（▼14.7）	117,265（▼17.0）	141,686（▼16.6）
入出荷		893（6.6）	1,844（2.2）	2,737（3.6）
マテリアルハンドリング		3,658（▼10.3）	15,231（11.9）	18,889（6.8）
クリーンルーム内作業				
	FPD	302（2.7）	859（52.3）	1,161（35.3）
	半導体	2,426（0.1）	3,385（6.6）	5,811（3.8）
	その他	2（－）	0（－）	2（－）
	合計（台数）	2,730（0.3）	4,244（13.5）	6,974（7.9）
	合計（金額）	17,900（▼5.7）	22,269（20.7）	40,169（7.3）
その他用途		1,509（▼16.5）	2,552（64.8）	4,061（21.0）
総計（台数）		24,937（▼9.2）	75,933（1.6）	100,870（▼1.3）
総計（金額）		114,676（▼10.2）	287,667（▼4.5）	402,343（▼6.2）

注：単位は台。合計・総計の下段は金額で単位百万円。カッコ内は前年比増減率%、▼はマイナス

■図2.1.2-2　2013年度ロボットの用途別出荷台数

出所：(一社)日本ロボット工業会「産業動向レポート2013」、日刊工業新聞

産業用ロボットの輸出地域別では、北東アジア地域が急拡大し、12 年では 63%に上る。これらの地域では、電子部品、半導体実装、クリーンルーム等の電子・電気産業が主になっている。

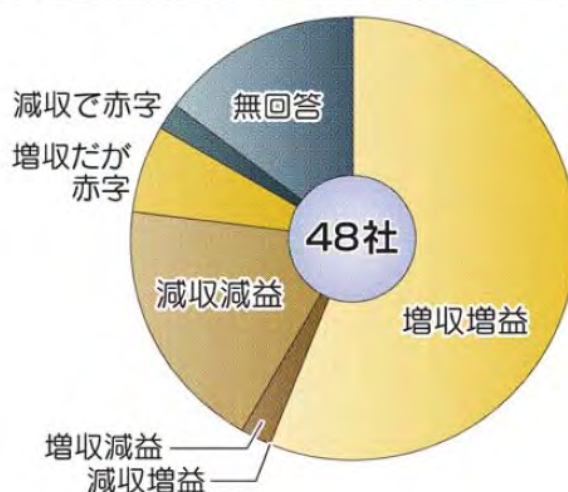
12 年の主要輸出国では、中国が約 34%となり、続いて米国の約 17%、韓国の 12%と続く。中国では、特に EMS 関連の「PC・実装」で多くのロボットが使われていることが分かる。

■図 2.1.2-3 ロボットの地域別輸出額推移

出所：(一社)日本ロボット工業会「産業動向レポート 2013」

2.1.3　国内産業用ロボットメーカーの見通し

日刊工業新聞社が 13 年 10 月にロボット関連企業を対象に実施したアンケート（48 社回答）では、13 年度の業績見通しについて全体の 56%が「増収増益」と回答。14 年度の受注については、77%が前年度を上回ると予想した。

産業用ロボットメーカーの 14 社に絞ると、13 年度の業績見通しについて全体の約 80%が「増収増益」と回答。同じく産業ロボットメーカーの 14 年度の設備投資額は「増える」が 40%。「減らす」は 4%に留まった。

安川電機と不二越が中国新工場、ファナックが山梨県のロボット工場建設と、大手が 13 年までに大型投資を終え、中堅メーカーの多くも大規模投資を終えている。これを考慮すると、14 年以降は工場内設備の充実や販売拠点の増設が中心となると予想される。

■図 2.1.3-1　産業用ロボット・部品の業績見通し

■産業用ロボットメーカートップの市場観測

【安川電機　会長兼社長・津田純嗣氏】

世界全体で好調。中期的には中国や欧州で需要が伸び、ロボットも高度化していく。

【ファナック 専務・稲葉清典氏】

全世界的に好調で、特に北米と中国が良い。１３年度後半も勢いは続いていくだろう。

【不二越　常務・佐々木誠氏】

１３年度はロボット事業の売上高が３割増加する見通し。小型ロボットで中国市場を開拓する。

【川崎重工業　執行役員・橋本康彦氏】
溶接ロボットが中国、インド、タイで好調。半導体搬送ロボットも需要が復活している。

【ダイヘン　執行役員・古都（ふるいち）肇氏】
アーク溶接ロボットは自動車関連の設備投資を受け需要拡大。１３年度は市場規模８２０億円を見込む。

【三菱電機　部長・小平紀生氏】
人件費高騰により中国の一極集中生産が減少。ロボットニーズは全世界に拡大している。

【東芝機械　取締役・坂元繁友氏】
１３年度は電子機器受託製造サービス向けが伸びると期待したが、想像以下だった。
１４年度に期待。

【ヤマハ発動機　執行役員・藤田宏昭氏】
中国市場は人件費高騰でロボットの需要拡大。現地メーカーも育っており新しい提案が求められている。

【デンソーウェーブ　社長・柵木（ませぎ）充彦氏】
少しずつ案件が増えている。設備投資減税も始まり、１３年度下期は期待が持てる。

【セイコーエプソン　事業部長・平尾英雄氏】
１２年度に比べ欧米需要が回復。中国販売も好調で好業績。中国のほかＡＳＥＡＮ市場の成長に期待。

【ＫＵＫＡロボティクスジャパン　社長・星野泰宏氏】
１３年前半は弱かったが、後半は伸びている。アベノミクスや助成金の効果もあり、
市場が活発化していると感じる。

【ＡＢＢ　本部長・村松優氏】
中国は一部投資が減退しているが全体的には堅調。１３年業績は１０％以上成長する見通し。

出所：日刊工業新聞

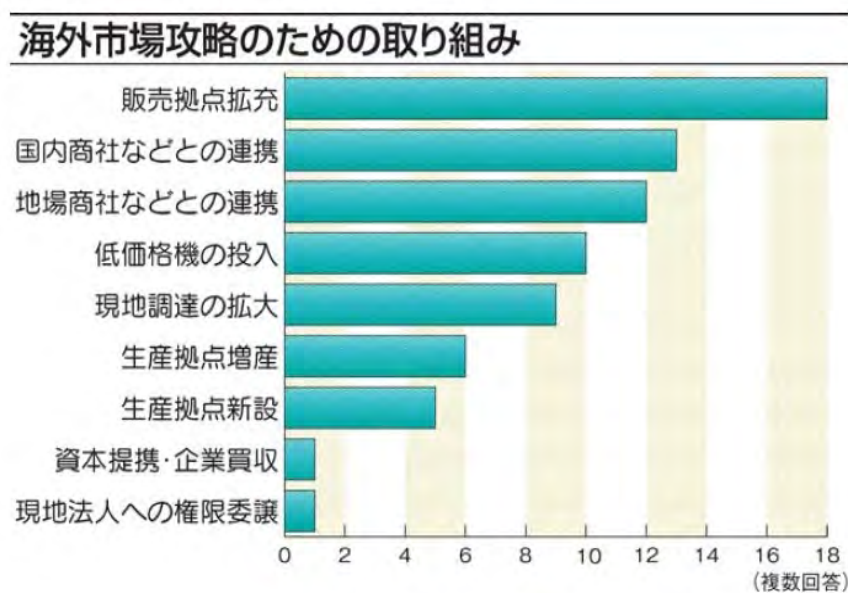
2.1.4　海外進出に向けた取り組み

日刊工業新聞社がロボット関連企業を対象に行ったアンケートでは、産業用ロボットと関連メーカーの計48社の内、海外の売上比率が「1～25%未満」と答えた企業が50%、「25～49%」が8%、「50～74%」が13%、「75%以上」が6%だった。

世界でロボットメーカーが日本に集中しているため部品メーカーは国内出荷が中心。ロボットメーカーのみでは 4 割以上の企業が海外比率「50%以上」と回答しており、海外比率は今後増加していくと見られる。

なかでも、注目されるとのが中国市場。現地の賃金上昇もあり需要拡大が見込まれ、アンケート回答企業48社の内、約7割が進出している。

「価格競争が厳しくなっていると感じるか」との問いで「非常に感じる」「感じる」と答えた企業が 84%を占めた。これにも中国での営業活動が増えている影響が出ていると見られる。

こうした状況を受け、13年は安川電機、不二越が日系大手で初めて中国生産を開始。年末にはドイツのKUKAロボターも中国生産を始め、15年には川崎重工も中国でロボット工場を稼働する。

■図 2.1.4-1　海外市場攻略のために取り組み（回答48社）

出所：日刊工業新聞

2.2　ロボット産業関連施策

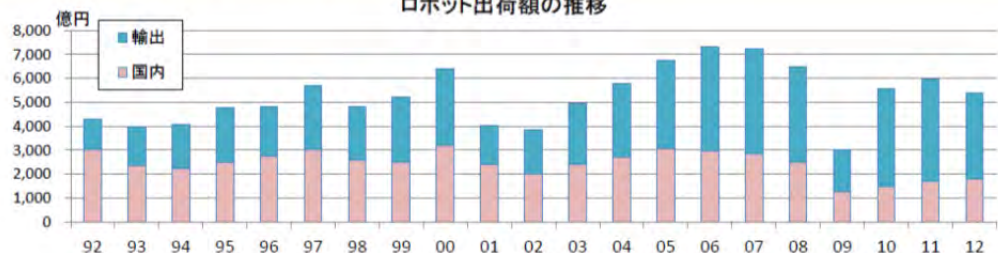
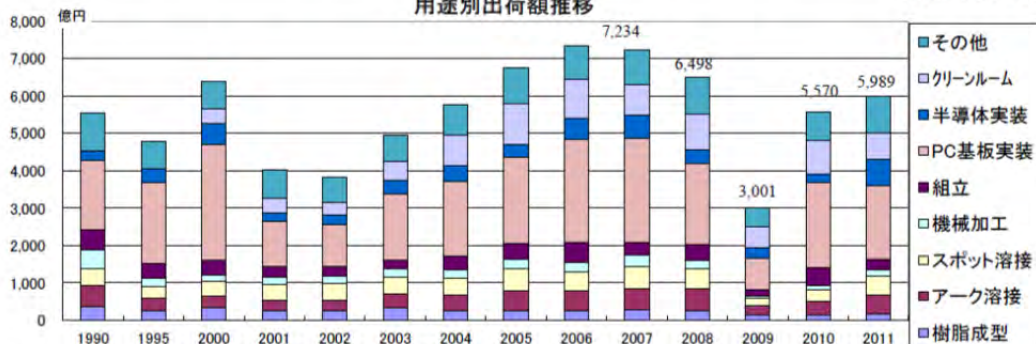
2.2.1　第1回審査・運営委員会における配布資料「ロボット産業関連施策」

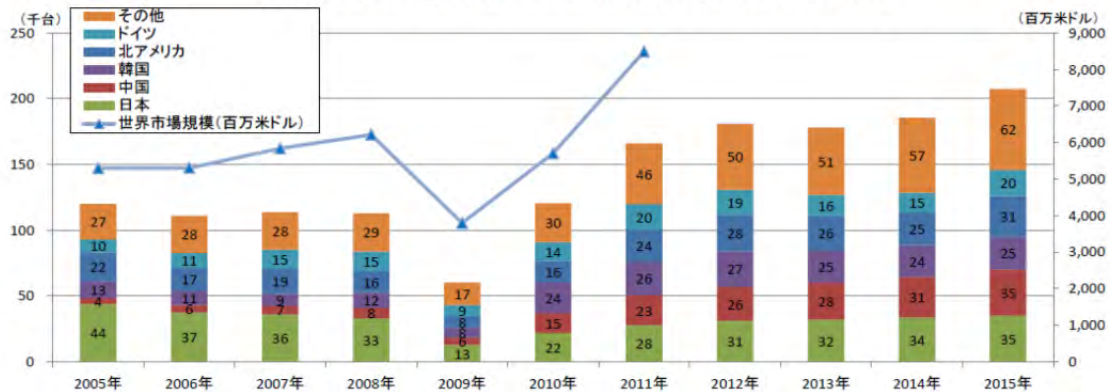
（経済産業省　製造産業局　産業機械課）　※一部最新データに差し替え

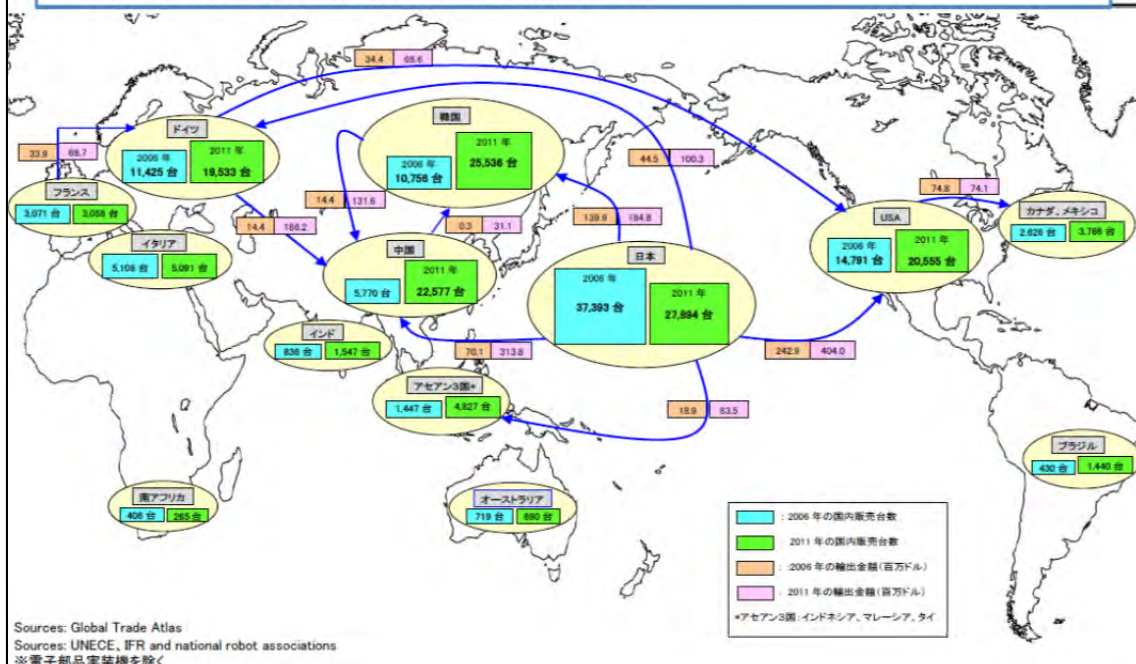
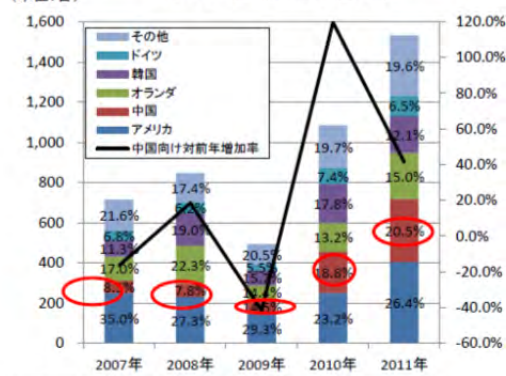
ロボット産業関連施策

平成25年9月

経済産業省

製造産業局　産業機械課

産業用ロボットの世界市場動向

- 産業用ロボットの世界市場は、金額ベースで直近5年間に約60%成長。
- 2011年は8497百万ドル(6628億円)であり、うち日本企業のシェアは50.2%。
- なお、電子部品実装機を含む広義の産業用ロボットの世界市場は約13369百万ドル(10428億円)で、日本企業のシェアは57.3%。
- 日本市場は直近5年間に台数ベースで約25%縮小したものの、2011年時点では、全体として世界最大市場の地位を維持。
- 今後、2015年には世界の販売台数は約21万台(2011年比25%増)と予測される。

主要国のロボット輸出入動向

- 世界的な産業用ロボットの市場拡大により、日本からの産業用ロボット輸出額は、直近5年間で約80%増加。
- 中国市場の台頭により、ドイツ、韓国は中国への輸出額を直近5年間で10倍以上に増やし、同じく4倍以上に増やした日本を含め、中国市場での競争激化が見込まれる。

	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
全世界	715	846	494	1,084	1,532
アメリカ	250	231	145	251	404
中国	61	66	72	204	314
オランダ	121	189	71	143	229
韓国	80	161	78	193	185
ドイツ	48	52	27	80	100
その他	154	147	101	213	300

(単位:億円)	足下推計値	2015年	2020年	2025年	2035年
製造分野	約 6,600	10,018	12,564	15,807	27,294
ロボテク(RT)製品	約 1,400	1,771	4,516	8,057	15,555
農林水産分野	約 10	467	1,212	2,255	4,663
サービス分野	約 600	3,733	10,241	26,462	49,568
合計	約 8,600	15,990	28,533	52,580	97,080

(単位:億円)

大分類	中分類	小分類	推計対象時期	足下推計値	2015年	2020年	2025年	2035年
製造分野	従来型産業用ロボット	-	2012年	6,530	9,365	10,524	10,926	11,027
	次世代型産業用ロボット	次世代組立ロボット(自動車用)	-	N/A	324	992	2,393	7,988
		ロボットセル(電気機械用)	2012年	1~2	329	1,048	2,488	8,279
	食品産業	食品ハンドリング	-	N/A	179	675	1,432	1,640
		食品加工	2010年	15~20	81	305	793	1,743
	医薬品産業	-	-	N/A	-	-	-	-
	化粧品産業	-	-	N/A	-	-	-	-
ロボテク(RT)製品	ロボテク(RT)家電/住宅設備	-	2012年	797	928	2,859	4,880	5,579
	ロボテク(RT)自動車	-	2012年	40	509	1,033	2,083	7,370
	ロボテク(RT)船舶	-	2012年	500	159	281	444	729
	ロボテク(RT)鉄道	-	2012年	47	25	46	74	128
	ロボテク(RT)建機	-	2012年	6	149	298	576	1,750
	ロボテク(RT)農機/農業	土地利用型農業	-	N/A	11	23	73	276
		酪農・畜産	2011年	6~9	102	294	498	588
		農業物流	2011年	7	273	603	812	858
	ロボテク(RT)林業	-	2011年	1~2	17	84	304	872
農水産分野	農業	露地・施設栽培	2012年	2	9	39	150	927
	漁業・水産養殖業	-	2010年	10~12	54	168	417	1,142
サービス分野	医療	手術支援	2012年	75	43	136	317	534
		調剤支援	2012年	100	65	210	383	414
		リハビリ機器(※自立支援と重	2012年	5~7	-	-	-	-
		医療周辺サービス(搬送等)	2012年	2~3	-	-	-	-
	介護・福祉	自立支援(※リハビリ機器と重	2012年	5~7	134	397	825	2,206
		介護・介助支援	2012年	1~6	33	146	414	1,837
	健康管理	フィットネス	2012年	30~40	1,376	1,461	1,576	1,817
		健康モニタリング	2012年	1~2	54	161	440	1,480
	清掃	-	-	N/A	22	127	541	4,287
	警備	機械警備	2010年	152	210	610	1,249	2,689
		施設警備	-	N/A	17	210	703	1,632
	受付・案内	-	2012年	1~2	2	9	39	465
	荷物搬送	ポーター	-	N/A	7	30	132	811
		重作業支援	-	N/A	15	43	120	2,299
	パーソナルモビリティ	-	2012年	2	71	1,160	8,843	9,656
	物流	パレタイザ/デパレタイザ	2011年	123	212	410	865	1,523
		無軌道台車システム	2011年	84	298	648	1,210	1,681
		次世代物流支援	-	N/A	73	408	1,073	4,326
	検査・メンテナンス	住宅	-	N/A	46	98	157	213
		社会インフラ	2012年	2~3	216	1,038	2,188	1,805
	教育	-	2012年	1~10	119	243	361	450
	アミューズメント	-	2012年	1	211	357	576	1,222
	レスキュー	-	-	N/A	8	60	291	670
	探査	-	-	N/A	17	73	257	811
	ホビー	-	2012年	1~6	223	716	1,485	2,157
	家事支援	-	-	N/A	-	-	157	858
	見守り・コミュニケーション	-	2007年	1~2	3	11	36	341
合計			-	約 8600	15,990	28,533	52,580	97,080

※2015~2035年の推計は平成22年度ロボット産業将来市場調査(経産省・NEDO)による。※「従来型産業用ロボット」には電子部品実装機を含む。 8

３章　　産業用ロボットの技術トレンドと課題

3.1　産業用ロボットの技術トレンド

3.1.1　バラ積みピッキングへのトライ

現在、わが国おけるモノづくりではより一層の自動化が求められており、例えば、自動組立システムにおいては、必ずといってよいほど部品供給が問題となる。以前からロボットを用いたバラ積み部品供給がトライされており、「ランダム・ビン・ピッキング」という古典的な難題の 1 つとして理解されている。

研究が始まった 1980 年代初頭から実用化への期待は高いものの解けない問題とされていたが、最近は 3 次元（3D）ビジョンセンサの高度化ならびに低価格化に伴い、実現場で使えるシステムが登場している。

例えば、「2011 国際ロボット展（iREX2011）」では、安川電機は TOF（Time of Flight：光飛行時間測距）方式を用いたシステムを、ファナックは光切断方式を用いたシステムを、また、3 次元メディアは 2 眼ステレオ視を用いたシステムを公開し、それぞれに把持対象（ワーク）の 3 次元データと照合することで位置姿勢に加え、傾きや重なりを認識して 1 つずつ取り出せる様子を披露した(*1)。また「2013 国際ロボット展（iREX2013)」では、ファナックのように複数ワークに対応可能なロボットハンドを開発することで、機種切り替えに強いバラ積み部品供給に対応するシステムも登場している（図 3.2.1-1)。

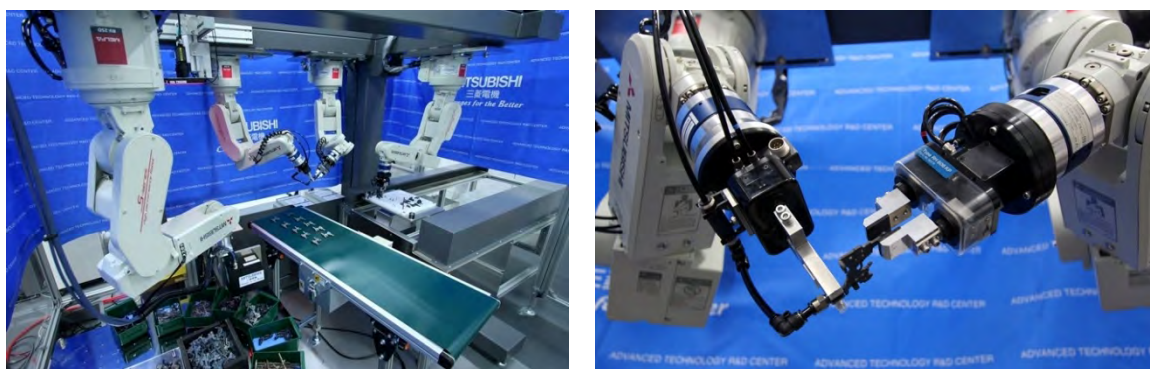
＊1：安価なシステムとして、ダブル技研が 3D ビジョンセンサに「Microsoft Kinect」を用いたバラ積みピッキングシステムを提案している。

■図 3.1.1-1　3D ビジョンセンサによりバラ積みピッキング行う安川電機のシステム（左）と、薄い鋼板を組み合わせた独特のハンドで多品種のピッキングに対応できるファナックのシステム（右）

ただ、これらのシステムが部品供給におけるランダム・ビン・ピッキングの解になり得ているかというと、把持対象に制約あったり、複数ハンドを用意したりするなど、パーツフィーダを用意したり専用治具を制作したりするのに比して優位性を示しているとは言い難い。まだまだ発展途上の段階にある。

ランダム・ビン・ピッキングの難しさは、部品が見えているのにハンド（爪）が当たって把持できない（＝対象物の把持)、把持したものの所定の姿勢に変更できない（＝姿勢変更）に集約されるが、これに真正面から取り組んでいる例として、日本ロボット学会でも評価されている、三菱電機のアプローチが興味深い。ランダム・ビン・ピッキングにかかる問題を分割・単純化しつつ、状態認識とロボットで行える操作を連鎖させることで成功率および実行速度を高めている。

具体的には、ハンドが入るすき間のみを抽出する画像認識手法と、平面上へのワークの仮置きにより位置姿勢の認識および把持を単純化しつつ、複数ロボットの持ち替え動作を連鎖させている。複雑形状のワークでも、いったん仮置きすることで、いくつか存在する安定した姿勢で静止する。

また、仮置きした場所の高さ方向は既知であるため、より高精度なワークの位置姿勢の推定につなげることができ、この状態で 2 次元センサにより計測すれば、安定した姿勢のうちのいずれかの状態であるかがわかる。さらに、複数ロボットで持ち替える動作を連鎖させることで（図 3.2.1-1)、次のロボットがハンドリングしやすい位置姿勢にでき、パレット上に配列できるというのがおもな考え方である。

■図 3.1.1-2　三菱電機が 2011 年に発表した複数ロボットを活用したバラ積みピッキングシステム(左)。複数ロボットで持ち替える動作を連鎖させてハンドリングしやすい位置姿勢にする（右）

システムは、おもに天吊りにした 4 台の垂直多関節ロボットから構成。1 台目のロボットは 3 次元距離センサ（TOF 方式）をハンドカメラとして搭載。天井には 2 次元カメラを設置しており、仮置きしたワークの位置姿勢を認識する。作業の流れは、まず 1 台目のロボットが部品箱から 1 つのワークをピッキングし、平面上に仮置きする。ピッキング時は 3D ビジョンセンサによりバラ積みされたワークの距離画像を取得し、ある高さ（Z 軸方向）でセ

グメンテーションを行う。抽出したセグメントからハンドが挿入可能な隙間を探し出し、把持位置を決定する。

次に、仮置きしたワークの位置姿勢を 2 次元カメラで認識。登録しておいた部品情報をもとにワークをシルエットで認識し、位置姿勢を確認して把持する。そして、3 台目のロボットに手渡してハンドリングしやすい位置姿勢に変更した後、4 台目のロボットがパレットに配列する。ワークが単純形状の場合は、2 台目のロボットがパレットに並べる。

複数台のロボットを使用するため初期投資がかかるものの、ワークを変更（品種変更）したい場合は、ロボットの動作ソフトの書き換えのみで対応することができ、ワークに合わせて専用治具やパーツフィーダを用意したり、専用治具の再設計・製作したりする手間がかからない。部位点数が 10 点以上であればパーツフィーダなどを利用するよりも、むしろ低コストで済むとしており、ほとんどの部品供給作業において同システムの運用は有利になると見込まれる。

そのほかランダム・ビン・ピッキングの問題とは多少異なるが、簡易に扱え、かつ様々なワークに対応できる点で、ナレッジの「パレ・デパレシステム」も興味深い。乱雑に積まれ、かつサイズが異なる 1 つひとつの段ボール箱を 3 次元で認識し、リアルタイムに軌道生成することでランダムピッキングを行う（図 3.2.1-3)。

具体的には、3 次元認識には光切断法を採用しており、段ボール箱にスリット光を照射し、照射光をもとにカメラ画像中の各点の奥行き情報を得て位置姿勢を把握。計測データをもとに対象物のテンプレートモデルならびにロボットの軌道をリアルタイムに生成してピッキングを行う。最も上位に積まれたものを把持可能なワークとして認識している。

このような認識方法であるため、工場内での利用現場に制約はあるものの、投光のためのプロジェクタとカメラのみでシステムを構成することが可能。また、事前登録した形状データ（STL ファイルなどの 3D データ）をもとにパターン認識する方法ではないため、画像処理にかかる計算負荷がきわめて小さい。それゆえに、投げ込まれた段ボール箱でも即座に軌道生成してピッキングが行える。現在は、東京大学発のベンチャー・MUJIN 社と連携して、より高精度な軌道計画が行えるシステムの開発に注力している。

■ 図 3.1.1-3　ナレッジが開発したパレ・デパレシステム。3 次元計測したデータをもとにリアルタイムに軌道生成することでランダムピッキングを行う。

3.1.2　ロボットセルへの展開（三菱電機／IDEC／IHI ほか）

2000 年代半ば以降、変種変量生産への対応を目的に、一部製造業で生産拠点の国内回帰が進んでいる。これに伴いセル生産方式（人セル）が導入されているが、労働人口の減少やアジア各国の人的資源を背景とした国際競争力への対応などを見すえると自動化が求められている。すなわち、ロボットを活用したセル生産システム（ロボットセル）への移行であり、人セルと同様に機動性の高いロボットセルの開発に取り組まれている。

ロボットセルへの取り組みがもっとも早い IDEC では、2000 年より運用を開始しており、産業用スイッチや産業用リレーなどの変種変量生産を行っている。同社の滝野事業所（兵庫県加東市）ではスイッチやリレーの組立で現在 23 セルが稼働しており、制御機器の累計生産実績は 6,500 万台以上に上る（2013 年 7 月時点)。

併せて、ロボットセルの高機能化も進めており、2007～2011 年度実施の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」(NEDO）に参加して以降は、知能化技術（アルゴリズム）ならびに関連するソフトウエア・モジュール（知能化モジュール）の開発に取り組んでおり、ティーチング（教示）時間の自動化やチョコ停からの自動復帰などに関する知能化技術の構築を果たしている。

■ 図 3.1.2-1　IDEC が滝野事業所で運用しているロボットセル

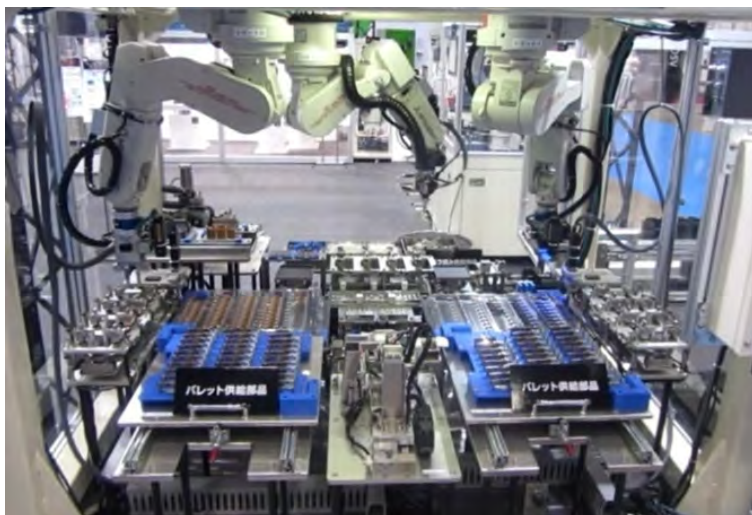
IDEC のロボットセルは、6 軸垂直多関節ロボット（三菱電機製）と 4 軸水平多関節ロボット（セイコーエプソン製）を中心に、「千手観音ハンド」といわれるマルチハンドや組立治具、部品供給トレイなどから構成。一度に多数個を把持できるマルチハンドにより部品供給トレイから部品を取り出し、組立治具を用いて組み立て、完成品を部品トレイ（部品完成品トレイ）に並べるという動作を繰り返す。

マルチハンドは、ダブルソレノイド 4 個とセンサ入力 16 点を搭載しており、計 4 個のロボットハンドを 4 方向から設置することができる。作業者であれば 3 人分に相当する組立能力となり、2 個把持タイプのロボットハンドを使用すれば倍の 6 人分に相当する組立能力を確保することが可能。また、工程に応じて自動交換ができ、変種変量生産に対応できる。

上述の通り、各種知能化技術を実装した知能化モジュールを開発しており、ティーチングの自動化に向けた「教示支援モジュール」や、カメラ画像を利用してのチョコ停の事前回避や自動復帰のためのモジュールなどを開発しているが、現行のロボットセルにはまだ実装していないとしている。

また、上述の NEDO プロで IDEC と共同でロボットセルの開発に取り組んできた三菱電機は、「サーマルリレー組立セル」の実運用を進めている。国際ロボット展に出展したシステムを例に説明すると、おもに部品供給や払い出しを行う「部品供給ロボット」と、2 台が協調しての組立作業を行う「組立ロボット」、中央に配置した「組立ステージ」から構成。部品供給ロボットは 3D ビジョンセンサを搭載しており、バラ積みピッキングやネジの簡易な整列や供給を行う（上述のバラ積みピッキングを応用している）。

組立ロボットは 6 軸力覚センサと 2 次元視覚センサ（コグネックス製）を搭載しており、これらの情報をもとに 2 台が協調しつつ、ハンドとフィンガーを交換しながら組立作業を

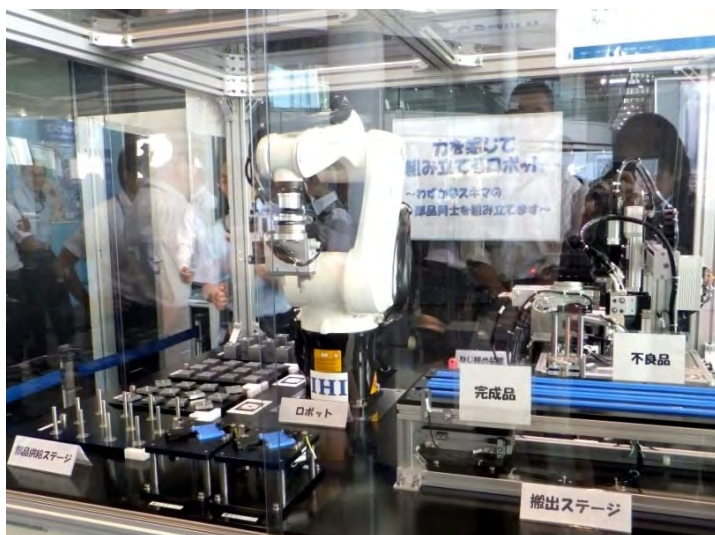
行う。3D ビジョンセンサおよび視覚センサはいずれもハンドカメラとして利用している。
組立対象となるサーマルリレーの部品点数は 16 種、34 点になる。組立作業は、まず部品供給ロボットがケースを組み立て、組立ステージに供給。続いて、バラ積み部品や各種ネジを組立ロボットに供給する。次に、2 台の組立ロボットが協調しながら組立ステージ上のケースに順次、部品を組み付け、ネジ締めを実施。そして、完成した製品をコンベヤへと払い出す。一連の組立作業は約 100 工程にも上る。

■ 図 3.1.2-2　知能化組立ロボットを用いた組立ロボットセルシステム
複数ロボットによる協調制御や干渉回避機能、力覚制御などを知能化ソリューションとして搭載。開発環境「RT ToolBox2」などを用いてシステム構築が行えるなど、これら知能化ソリューションを容易に扱えるように配慮している点に特徴がある。

三菱電機も同プロジェクトの成果を実装することで複雑な制御を可能にしているが、同社の FA 統合プラットフォーム「iQ プラットフォーム」を介して 2 台のロボットを協調制御しながら組み付け作業を行う点は、各種 FA 機器を扱う同社らしく、また、FA 機器との組み合わせによりトータルの生産財としてロボットシステム（ロボットセル）の価値を高めようとする思想が伺える。
また IHI では、精密嵌め合い部品の組み付けを可能にする制御アルゴリズムを開発し、ターボチャージャの組立作業で組立ロボットセルとして適用している。力覚センサで計測した組み付け時の反力に応じて、ハンドの位置姿勢、速度を精緻に制御して組立作業ができ、0.002～0.008mm（H7/g6）の嵌め合い寸法への対応を可能にしている。
同社の技術フォーラムなどで公開されたシステムを例に説明すると、6 軸力覚センサおよびハンドカメラを搭載する垂直多関節ロボットとネジ締め装置、部品供給ステージ、組立ステージ、搬出ステージから構成（図 3.2.2-3）デモ用にピストンに見立てた精密部品を使用しており、シリンダーの底部に相当する部品を組み付け、ネジ締め装置で固定した後、組立ステージに戻してピストンを挿入、シリンダー上部に相当する部品を組み付け再度、

ネジ締め装置で固定する、という一連の作業が行える。

ピストンの挿入時は力制御に切り換えており、力覚センサで計測した反力にならって微調整しながらハンドの位置および姿勢、速度を精緻に制御して行う。また、テーパ通過時はゆっくりと、通過後は早く、そして、シリンダー底部に触れるときはゆっくりという具合に、組み付け速度を変更することで狭いすき間でも円滑に組み立てられるようにしている。IHI では「力切り換え制御(*2)」と表現している。

ロボットによるペグ・イン・ホール（ピン挿入）作業は、部品形状に倣って挿入できるようコンプライアンス制御により手先を柔らかくしてゆっくり行う例が多く見られるが、このような力（切り換え）制御により速やかな挿入を可能にしつつ 0.002～0.008mm の嵌め合い寸法への対応を可能にしている。

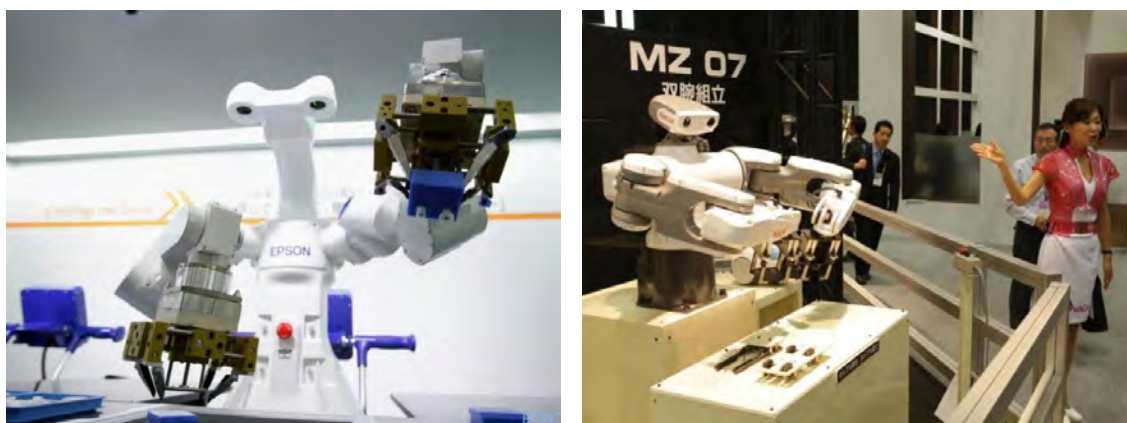
＊2：IHI では、組立セルに実装した力制御を応用して、航空機部品のエッジ部の精密仕上げにも展開している。工具の押し付け方向には力制御を、押し付け方向とは垂直方向に位置制御をそれぞれ行うことで、部品のエッジなどに工具や押し付けながら加工や計測ができるようにしている。

■図 3.1.2-3　IHI が」技術フォーラムで公開した力切り換え制御を実装した組立セル。
速やかな挿入を可能にしつつ 0.002～0.008mm の嵌め合い寸法への対応を可能にしている。

なお、ロボットセルの話題に関連すると、日刊工業新聞社では「2013 国際ロボット展（iREX2013)」の併催事業として「ロボットセル」セミナーを開催し、有料にもかかわらず、120 名の参加者があった。現在、多くの現場では生産ラインを（ある程度）分断化し、それぞれに効率化を図っているとされており、分断化したラインの効率化を図るためのヒントを得る目的で参加したと推定される。本節で紹介した IDEC や三菱電機、IHI のように完全なロボットセルを実現しないまでも、ロボットセルの検討は、分断化された生産ラインの中での部分的な自動化の検討に役立つものであり、継続的な議論が求められるテーマといえよう。

3.1.3　双腕ロボットへの傾倒

産業用ロボットメーカーが人の上肢を模した「双腕ロボット」の開発を加速しており、「2013 国際ロボット展（iREX2013）」では、セイコーエプソンや不二越（図 3.1.3-1）、スイス ABB 社が相次いで試作機を発表した。

スカラ（水平多関節）ロボットで高いシェアを持つセイコーエプソンは、2015 年をめどに双腕ロボット事業に参入する。同社の双腕ロボットは頭部にステレオカメラを、手首部にハンドカメラをそれぞれ搭載。3 次元空間上で対象物の位置姿勢を認識し、それをもとに軌道生成して把持動作を行う（ビジュアルサーボ）。また力覚センサを搭載しており、独自開発の多目的ハンドとの組み合わせにより握る・掴む・挟むといった動作を、把持対象にダメージを与えることなく行える（*3）。今後は自社のプリンター工場で試験的に導入を進め、得られた各種データをもとに量産機へとブラッシュアップしていく予定としている。

＊3：東北大学大学院　工学研究科の小菅一弘氏らと共同開発した。

■図 3.1.3-1　ビジュアルサーボを実装したセイコーエプソンの双腕ロボット（左）と、不二越が自社製小型多関節ロボットで構築した試作機（右）

双腕ロボットの投入を伺う ABB 社は、前工程となる各種部品の配列を担うなど作業者との協調作業での利用を想定しており、こちらも 2015 年の商品化を予定している。以前、2006～2010 年度実施の「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」(NEDO）にて、ファナックと東京大学が共同で、作業者が部品供給などの情報提示を受けながらロボット協調して組立作業を行うシステムを開発していたが、これに近い開発コンセプトといえる（図 3.1.3-2)。

また、不二越も 2013 年 9 月に発売した小型ロボット「MX07」2 台を用いて、ビジョンセンサを組み合わせた双腕ロボットを披露。今後はロボットアームのさらなる小型化を進めつつ事業化に向け市場調査を行うとしている（図 3.1.3-3)。

■図 3.1.3-2　人と協調しながら組立作業を行う ABB 社の双腕ロボット（左）、ファナックが東大と NEDO プロで共同開発した協調作業システム（右、NEDO 公開資料より）。

安川電機	◎	産業用ほか医薬研究向けも発売
ファナック	×	参入予定なし
川崎重工業	×	参入予定なし
不二越	△	参入に向け市場調査
セイコーエプソン	○	15年の参入予定
三菱電機	×	参入予定なし
川田工業	◎	人間と協調作業できるロボットを発売
ABB（スイス）	○	15年の参入予定
KUKA（ドイツ）	×	研究はするも製品化の予定なし

■図 3.1.3-3　各ロボットメーカーにおける双腕ロボットへの参入および検討状況

ただ、にわかに注目を集める双腕ロボットであるが、製造現場での活用はまだまだこれからといった状況である。富士経済が取りまとめた「2013 ワールドワイドロボット市場の現状と将来展望」では、スリムタイプの小型垂直多関節ロボット（例えば、独 KUKA Roboter の「Light Weight Robot」）を合わせた市場規模は、2012 年実績で 45 億 5,000 万円、2013 年見込みで 59 億 3,000 万円、2014 年予測で 105 億 7,000 万円。うち安川電機の 2012 年の販売実績が 35 億円、川田工業が 2 億 5,000 万円、台数ベースでは、安川電機が約 500 台、川田工業は約 30 台としている。

おもな要因は、単純にロボット（垂直多関節ロボット）2 台分に相当する価格と、双腕ロボットならではの用途（必要性）がいまだに不明瞭であることにある。小型垂直多関節ロボットは、参入企業の増加もあり、市場価格は百数十万円にまで低下している。これに対

し、双腕ロボットの市場価格は、低価格機種でも 700 万円前後にもなる。両社の双腕ロボットは、人の腕の自由度に相当する 7 自由度もあるため、一般的な 6 軸垂直多関節ロボットと比較できないが、導入側からすれば割高な印象を与えている。

また、もう 1 つの要因は双腕ロボットの根幹に関わる課題であり、国内の大手産業用ロボットメーカーの多数は、2 台を設置する方が合理的との考えを抱いている。これに対し、ビジョンセンサを含め人の上肢サイズであるがゆえ、人セルへの適用が容易である点に優位性があるとの声もあるが、10 数年前に、ヒューマノイドであれば人の生活環境に適合しやすいとする考えとほぼ同じであり、その形態である本質的な解になり得ていない。また、将来的に人と協調作業をする際に、双腕ロボットの方が動作を予測しやすく回避行動をとりやすいとする声もあるが、これもヒューマノイドにおける議論と同様であり、双腕ロボットの必要性に対する解にはなり得ていない。

とはいえ、双腕ロボットの存在を否定するものではなく、例えば、NEXTAGE を多数導入するグローリーの埼玉工場のように、周辺の治工具の活用と精緻な軌道計画により、貨幣処理機のモジュール部品の組立作業など複雑かつ高度な作業を可能にしている。また、安川電機も同様に、既存の周辺機器を使用しながら分注や培養など臨床試験にかかるベンチワークが行えるシステムを展開している。それぞれに高い導入効果を得ている (図 3.1.3-4)。

■図 3.1.3-4　グローリーの埼玉工場で稼働する NEXTAGE（左）と、臨床試験におけるベンチマークが行えるシステム（右）

ただ、これらのシステムからいえるのは、もともと産業用ロボットはシステムインテグレートを通じて初めて生産財として価値を創出するものだが、既存のロボット以上に、高度なシステムインテグレーションが求められることである。双腕ロボット事業のプレーヤーの増大に伴いアプリケーションが拡大し、普及するとの楽観論があるが、産業用ロボットの長年の課題である「再利用性の向上」を通じて、設置の容易性を飛躍的に高める努力が必要だろう。

ここでいう再利用性とは、ロボットそのものの再利用性とロボットプログラムの再利用

性であり（*4)、これにより専用ハンドや専用治具を（ある程度）不要とし、かつ頻繁なレイアウト変更にも耐え得るロボットになるはずである。双腕ロボットを普及させるためには、その必要性を問う本質的な議論に加え、このような産業用ロボットが長年にわたり抱える課題解決に取り組むことが求められるのかもしれない。

なお、上記の話題に関連する産業用ロボットのイノベーションについては、次節「3.2 産業用ロボットの技術的課題」で、別の切り口から論じている。

＊4：ロボットプログラムの再利用性の向上については、現物合わせに依存する現在の教示再生方式では、エンコーダ軸の角度表現をベースとした関節空間表現となっているため、たとえ同一機種のロボットに交換したとしてもロボットの個体差や据え付け誤差の影響によりプログラムが動作しないことがあり、このような機種依存性および環境依存性を解消するための方策が求められる。ビジョンセンサなどのフィードバックによる修正を前提とした作業空間表現によりある程度は解消されようが、組立作業のように環境との接触という物理現象を伴う作業では、ハードウエアへの依存度が高いため、さらなる工夫が求められる。

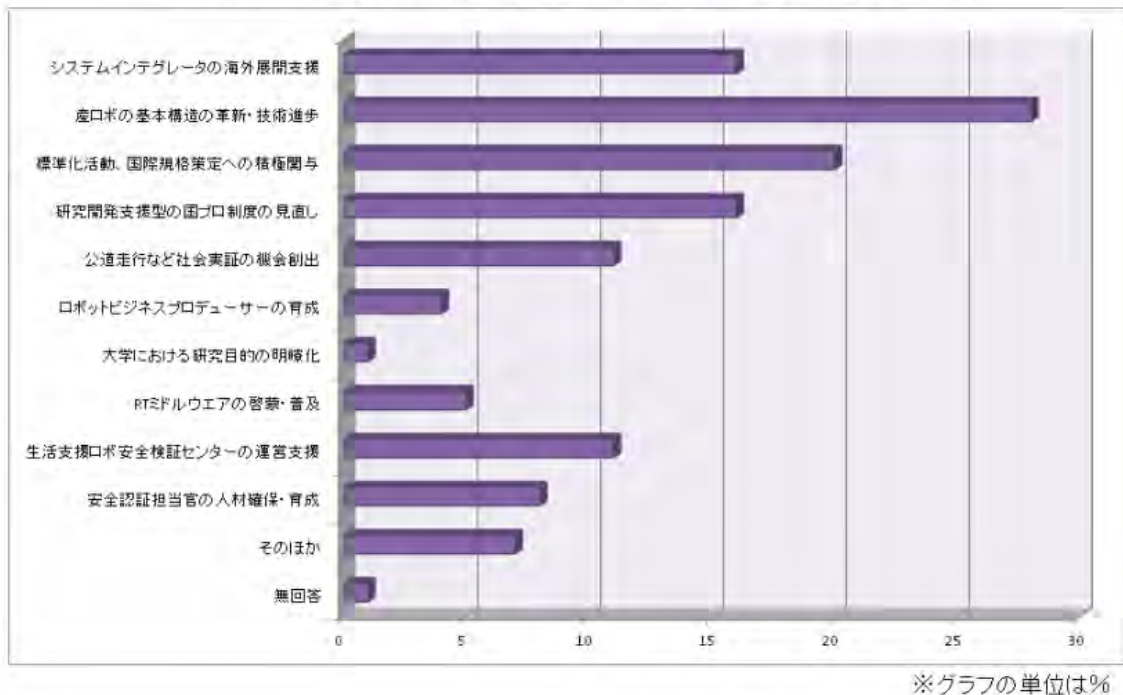
3.2　産業用ロボットの技術的課題

3.2.1　産業用ロボットのイノベーション

わが国の機械産業の強みは、高度なキーパーツ（要素技術）と、その特性を熟知した機械装置メーカーのアプリケーション技術により生み出された機械システムにあるといわれる。産業用ロボットも同様であり、1980 年代のロボット産業の初期段階における試行錯誤によりほぼ現在のかたちに到達しながらも、高度な要素技術を巧みに使いこなすことで高いパフォーマンスを達成している。ここ数年、アジア新興国と厳しい価格競争にさらされる中、特に、中国の産業用ロボットメーカーが同様にわが国の要素部品を多用しながらも、日本製に比して 7 割程度のパフォーマンスしか出せていないことは、日本のロボット産業が培ってきた経験（ノウハウ）がいかに有意であるかを示している。

しかし同時に、産業用ロボットの基本構造に大きな変革がないことの証左でもあり、産業用ロボットメーカーならびにユーザー企業の多くが、これに対し課題認識を抱くようになっている。例えば、日刊工業新聞社が前回、「2011 国際ロボット展（iREX2011）」の開催に先立ち、アンケート調査において『ロボット産業の発展に向け必要な施策』を問うたところ、『産業用ロボットの基本構造の革新・技術進歩』がもっとも多くの回答を集めた（図 3.2.1-1）。

また、その不変ぶりは、教示・再生（ティーチング・プレイバック）方式がいまも通用することからも如実に理解される。いまから約 50 年以上前の 1961 年、米 Unimation（ユニメーション）社が世界初の産業用ロボットとして「Unimate（ユニメート）」を導入。産業用ロボットの基本原理の発明者であり、Joseph F.Engelberger とともに同社を設立した George Charles Devol は、1954 年に「プログラム可能物品搬送装置」の特許を申請し、Unimate が実用化されたのと同じ 1961 年に認可を受けている。その後、Unimate はわが国に技術導入され、川崎重工業より国産初の産業用ロボットとして発表されたのはよく知られるところである。

彼の特許であるプログラム可能な搬送機械という考え方と、ティーチング・プレイバックが、50 年以上を経た現在でも通用するのは、ロボットを用いて実環境でティーチングを行うがゆえの「直感性」と、現物合わせによる「正確性」にあり、まさに普遍的といえる。そして、このような特徴を生かし、産業用ロボットを“位置決め装置”的に使うのが一般的となったが、ここに来て、それを見直すことで本来、ロボットに期待されている“フレキシビリティ”を追求する機運が高まりつつある。

■図 3.2.1-1　ロボット産業の発展に向け必要な施策に関する回答

3.2.2.　産業用ロボットの要素技術のイノベーション

産業用ロボットのイノベーションについては、ここ 1、2 年、日本ロボット学会で活発に議論されるようになっている。2012 年開催の「第 30 回　記念学術講演会」では産学連携セッション「産業用ロボットイノベーションへのチャレンジ」が企画され、2013 年開催の「第 31 回　学術講演会」でも同様のセッションが実施された。

ここでは、ロボットの機能および性能向上のように産業用ロボットメーカー各社の自由競争にゆだねられるべき技術課題ではなく、ロボット業界全体で取り組まれるべき技術イノベーションとして要素技術に着目しており、具体的には、「(1) 潤滑油を一滴も使わない機械要素」「(2) エネルギーロスを現状の 50%以下にする要素技術」「(3) 信号線を一本も使わないロボット」「(4) 電力線を一本も使わないロボット」をテーマに、関連要素技術を議論している。

これらを取り上げた背景に言及すると、(1) は、その実現により機構設計の自由度が拡大し、品質コストを含むトータルコストの削減に有効であること。加えて、食品工場やクリーンルームなど、ロボットの用途が油分の漏出が絶対にあってはならない作業にまで拡大していること。(2) は、ロボットの駆動時にかかるエネルギーに着目すると、サーボモータ内の損失や減速機内の動力伝達の損失、軸受部の摩擦損失などにより入力エネルギー

の 30～40%は失われており、機械システム全体のエネルギーロスの最小化が各技術分野で求められること。そして、(3) と (4) は、信号線および電力線の実装技術はノウハウのかたまりであり、設計上ならびに実装作業場の巧拙により信頼性とコストに多大な影響を与えていることなる。

過去 2 回にわたって、要素技術を扱ったテーマは以下の通りである。

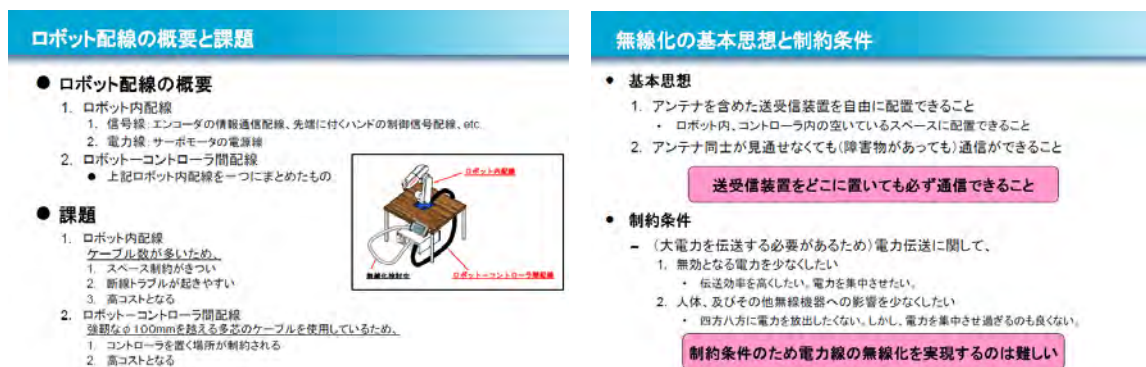
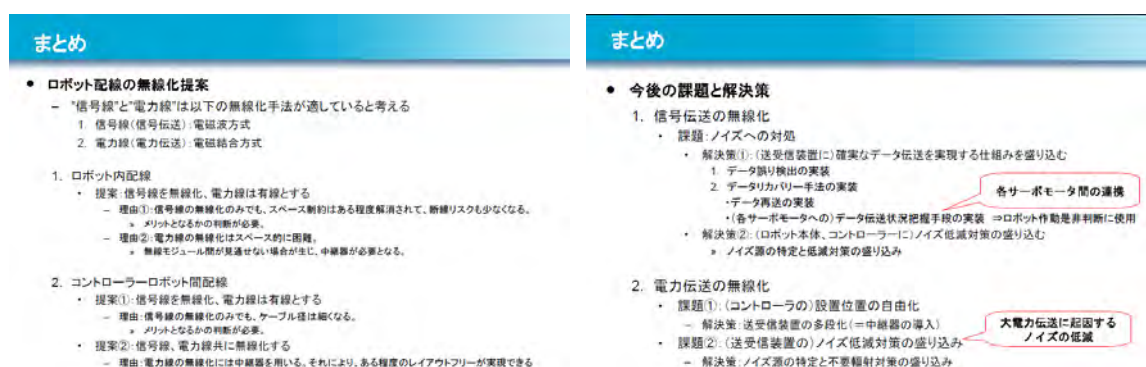
【第 30 回　日本ロボット学会記念学術講演会】

●三井化学における先進材料開発（三井化学）
●クリーン環境下における転がり軸受～半導体製造装置向けロボット用軸受けの事例紹介～（ジェイテクト）
●直動案内装置の軽量化による省エネへの貢献（THK）
●ロボット配線の無線化に対する一提案（フェリカネットワークス）
●組み込みできる薄膜全個体電池のセンシングやリモコンへの応用（東京エレクトロンデバイス）

【第 31 回　日本ロボット学会学術講演会】

●エンジニアリングプラスチックの最新技術とロボットへの応用可能性（ダイセル・エボニック）
●ヒューマノイド型ロボットへのエンジニアリングプラスチックスの適用の可能性（三菱エンジニアリングプラスチックス）
●ワイヤレス給電について（東京大学）

一例として、もっとも関心の高かったロボット配線のケーブルレス化への試みを述べると、この試みは、ロボット内配線における断線トラブルの回避や、コントローラの設置位置の自由度の向上といった効果を期待してのものである（図 3.2.2-1)。考察を試みたフェリカネットワークスでは、ロボット内に配線については中継器が必要となり、ロボット内への配置が難しい反面、ロボットとコントローラ間の配線については、このような問題がなく、コントローラの設置位置に自由度を持たせられるとの見方が示されている。

ロボットとコントローラ間の配線のみに言及すると、信号線（信号伝送）は電磁波方式と、電力線（電力伝送）は電磁結合方式の採用を前提に検討しており、もっとも可能性が高い方法として信号線とともに、中継器を用いることで電力線を無線化する案を提案。送受信装置の多段化に加え、大電力伝送に伴うノイズ提言対策などを盛り込むことで十分採用可能であるとし、これによりコントローラの設置位置の自由度が高くなるメリットが得られるとしている。ただし信号伝送の無線化に当たっては、確実に制御データを伝送する仕組みが求められるとし、データ誤りやデータリカバリ手法の実装が必要になると考えが示されている（図 3.2.2-2)。

■図 3.2.2-1　ロボット配線の概要と課題（左）と無線化の基本思想（右）

■図 3.2.2-2　ロボット配線の無線化提案のまとめ（フェリカネットワークス講演資料をもとに作成）

なお、ロボット配線の無線化に関連すると、三菱重工業が省配線化技術として電力線通信（Power Line Communication：PLC）技術を用いたエンドエフェクタの省配線化デバイスを開発。従来、ロボット外部に這わせていた太い電力・信号伝送ケーブルを極力少なくすることでロボットの作業性の改善が見込まれており、福島原発事故収束支援用ロボット「Super Giraffe(スーパージラフ)」のバルブ回し用エンドエフェクタで利用している。

3.2.3　システム―エレメント―マテリアル協業への試み

前節では、日本ロボット学会における検討を取り上げたが、産業界レベルでも、これら要素技術の開発に携わる業界ならびに材料業界との継続的な協業がなされてこなかった反省に立ち、関連業種相互に目標を共有し、その実現を試みる活動が始まりつつある。そのキーワードが「システム―エレメント―マテリアル協業」である。システムとしての機械、要素機器としてのエレメント、材料やデバイスとしてのマテリアルの三者の協業を通じて、より奥の深い技術を追及するという意が込められている。

前節の要素技術のイノベーションに対し、材料側から見ると構造材料や表面加工、添加剤や改質剤など複数のアプローチがある。また、材料メーカーの研究室では日々、新たな

素材が創出されているにもかかわらず、効果的なアプリケーションに遭遇しないために95%以上が棚上げにされたたままとなっているとされる。システムとエレメント、マテリアルそれぞれで課題を共有し、協調して研究開発に当たることができれば、これら未完の成果からイノベーティブな成果を創出できる可能性があると考えられる。

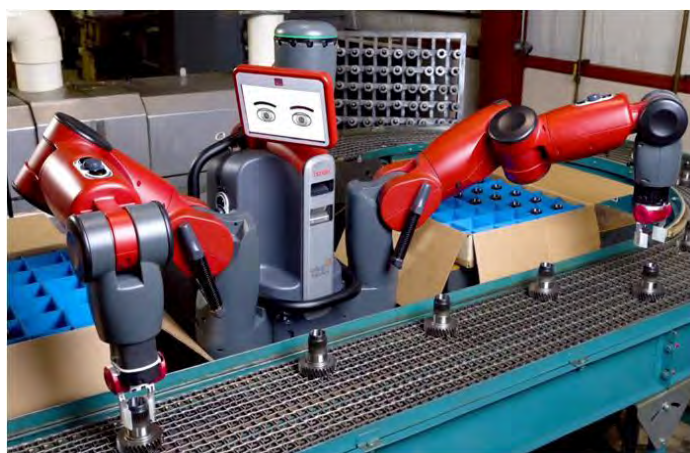
また、ロボットとコントローラ間の配線における無線化についても、システム側から具体的な仕様をデバイス業界に提示し、共通の目標として両者で研究開発に取り組むという基本的なところに立ち戻れば、前節で紹介したロボット配線の無線化も現実のものになると思われる。日本ロボット工業会において、システム―エレメント―マテリアル協業に向けた議論がすでに始まっている。

なお、このような要素技術に着目したイノベーションは他の産業機械にも広く展開できるものであり、産業用ロボット分野に限定せず、生産財産業全体に関わる重要なテーマであることを認識してもらいたい。

3.2.4 “位置決め至上主義”からフレキシビリティへの試み

現在、稼働している産業用ロボットはティーチング・プレイバック方式により動作しており、高速・高精度というパフォーマンスの追及とともに位置決め装置的に利用されるのが一般的となったことを先に述べた。また、ロボットが行う作業の中で、とりわけ難しいのは組立作業であり、塗装や溶接などと異なり、部品を把持して組み付ける際にロボットと環境とが様々な接触を生じ、このときのわずかな位置ズレが作業の失敗を招く。

このために、本来「プログラム可能な物品搬送装置」であったはずの産業用ロボットが、いったんティーチングを行うとそのまま専用機として使い続けるばかりか、生産効率上、エンドエフェクタの先の不確定要素には目もくれない使い方が常態化している。

このような、いわば「位置決め至上主義」的な産業用ロボットに対し、一石を投じる（のでは）と注目されているのが、2012年9月に米Rethink Robotics社が発表した双腕ロボット「Baxter（バクスター）」である。既述の産業用ロボットのイノベーションへのチャレンジでも、Baxterを例に議論がなされている。

■図 3.2.4-1　米 Rethink Robotics 社の双腕ロボット「Baxter（バクスター)」
ハンドの位置決めをビジョンセンサに委ねる点が、開発コンセプトにおいて位置決め装置的な使い方をする既存ロボットと異なると判断される。

Baxter は、スマートフォンの組立など軽作業での運用を想定。さらには、海外に流出した製造業の回帰を促すことも目指しており、米国のワーカーの年間人件費が 2 万米ドル（約 200 万円）であることから、価格を 2 万 2,000 米ドルとしている。

軌道計画は、作業者がハンドを直接手に持って動かすことで記憶させるダイレクトティーチングによる行うが、ハンド先端の位置決めをビジョンセンサに委ねる点が興味深い。既存の産業用ロボットは、上述の通り、現物合わせにより正確な動作を記憶（ティーチング）させることで精度を確保している。これにより高いパフォーマンスを発揮できるが、このような位置決め装置的な使い方は、その代償として、部品の把持にかかる物理現象をはじめハンドの先で発生する不確定要素（バラツキ）への対応を困難にしている（ビジョンセンサを組み合わせれば、ある程度は対応可能だが、あくまで補正としての対応にとどまる)。

そして本来、ロボットに期待されているフレキシビリティを損ねており、産業用ロボットは扱いにくいというイメージを抱かせている。Baxter の開発コンセプトならびにシステム構成は、こうした課題認識に応えようとする意図が垣間見える。

また、Baxter は人共存環境下での運用を想定しており、人検知のための 360°サウンドセンサのほか、アームにコンプライアンス（柔らかさ）を持たせるために、弾性要素を減速機に直列に結合した「SEA（Series Elastic Actuator、直列弾性駆動)」を搭載し、力制御により不確定要素への対応を可能にすると同時に、各軸に搭載した力センサにより作業者や障害物との接触を検知できるようにしている（ただ、軽作業を想定するため可搬質量は 2.25kg とさほど大きくないうえ、基本的にはハンドを下向きにして運用するといった制約がある)。

日本ロボット学会における議論では時間の制約上、表層的な紹介にとどまったために、フレキシビリティに応えようとする開発コンセプトが全体的に好意的に捉えられていた（生産財の開発に携わる技術者の参加が少なかったことも原因にあげられる)。しかしながら、Baxter が産業用ロボットのイノベーションに対し「解」となり得るかという問いには、現状では疑問符がつくという見方が、産業用ロボットメーカーの関係者の大勢を占める。上述のように、不確定性に対応しようとする開発コンセプトがあるがゆえに、速度と精度を犠牲にしており、例えば、最大速度は 1.0m/sec と既存の産業用ロボットに比べてかなり遅い。

産業用ロボットは「生産財」である以上、投資効果としてパフォーマンスが問われるの

が常であり、低価格といえでも、中小企業が導入を決定するとは考えにくい。Baxter が狙い通り、多くの不確定要素があるスマホの組立作業などで運用されない限りは、既存の産業用ロボットに肩を並べる可能性があるとはいえないであろう。とはいえ、これまでパフォーマンスに傾倒した結果、“位置決め装置”的な使い方ばかりしてきた産業用ロボットに、新たな発想を吹き込んだという点では評価される。

では、不確定要素に応えるための切り口はどこにあるのかと問われると、その 1 つは原点に立ち戻ることから始めるべきと考えられる。つまり、エンドエフェクタ（ハンドなど）の先で起きている物理現象に着目することである。例えば、産業用ロボット市場の多数を占める溶接ロボットを見ても、まだまだ研究課題があるにもかかわらず、大学や研究機関での研究は活発ではない。

ロボット工学に加え、材料科学や冶金学、プラズマ物理なども研究しなければならないという学問領域の縦割りの弊害があるからだろうが、エンドエフェクタの先の物理現象を解明することにより、結果、既存のアーム型ではない、新たな産業用ロボットの構造を見出せるだろう。これは塗装ロボットや組立ロボットもしかりであり、位置決め装置的な使い方を追求せずとも、十分パフォーマンスが得られる産業用ロボットになる可能性を見いだせる可能性があるはずである。

本節では、産業用ロボットのイノベーションにかかる課題を述べた。かつて、1990 年代前半に 90%に達していた日本製産業用ロボットの世界シェアは、現在は 60%程度にまで落ちている（IFR：World　Robotics　2012 などの資料にもとづく）。マーケットのグローバル化とともにグローバル競争が激化しており今後、さらに厳しい試練にさらされるのは必至である。日々のコスト対策はもちろん重要であるが、単純に、同様のロボットをより低価格に提供するという競争では、わが国は勝ち目がない。ゆえに、本節で述べた“地道なイノベーション”の追及は必須であり、また、このようなイノベーションは他の諸国も追従しいくることを自覚し、常にフロントランナーであり続ける覚悟を持つことが求められる。

3.3　安全柵設置条件の見直しとセーフティ・システム・インテグレーション

3.3.1　労働安全衛生規則の改定（「80W 規制」の見直し）と課題

2013 年 12 月 24 日、『産業用ロボットに係る労働安全衛生規則第 150 条の 4 の施行通達の一部改正』の通知がなされた。同年 6 月 14 日に閣議決定された規制改革実施計画ならびに近年の安全性確保にかかる技術レベルの実情を踏まえたものである。日本国内では労働安全衛生規則が適用（優先）されるがゆえ、産業用ロボットを安全柵などを用いて人（作業者）と分離して使用する必要があり、作業者との共存・協調作業が認められなかった（た

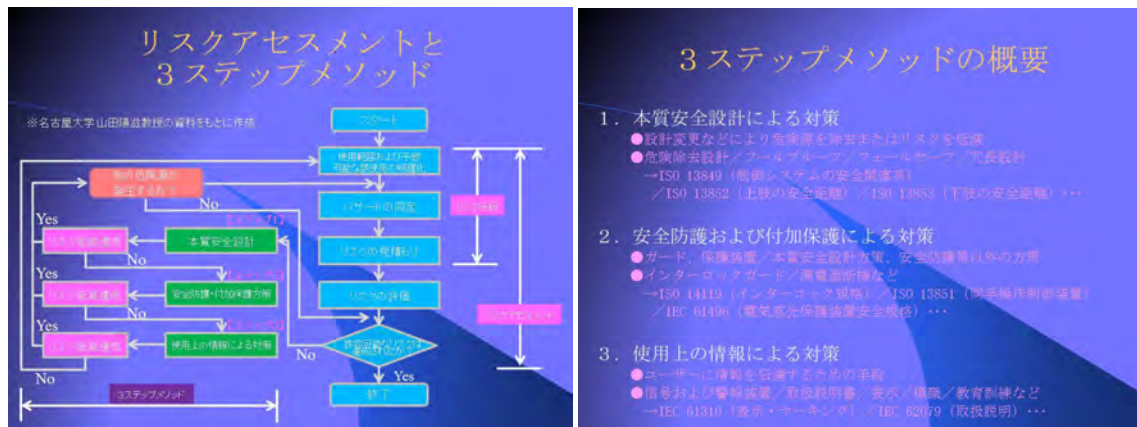
だし定格出力 80W 以下は除外（*1））。

＊1：労働安全衛生法 第 36 条 第 31 号では「但し定格出力（駆動用原動機を二以上有する者にあっては、それぞれの定格出力のうち最大のもの）が 80 ワット以下の駆動用原動機を有する機械は除く」と規定されている。

かたや、産業用ロボットの国際規格 ISO 10218-1:2011 および ISO 10218-2:2011 では、①ロボットの停止監視、②ハンドガイドによる操作（図 3.3.1-1）、③人とロボット間の相対距離・速度監視、④ロボットの力制限の条件下では、人とロボットの共存・協調作業を認めており、今回の改正は国際規格に整合する。同時に、長らく問題視されてきた労働安全衛生規則と国際規格との差異の解消にもつながるといえよう。

■図 3.3.1-1　ハンドガイド装置によるロボットの操作の一例

自動車のインパネの組付け作業の支援に向け、IHI が開発しているシステム。ロボットによる自動作業と作業者との協調作業に切り換えて作業することが可能。ハンドガイド装置にはイネーブルスイッチと力覚センサを用いた操作卓を搭載しており、イネーブルスイッチを押しながら操作卓に力を加えることでロボットを操作する。協調作業時は、国際安全規格の考え方にもとづき速度制限内でロボットを動作させるようにしている。

ただ、今回の改正で懸念されるのは、産業用ロボットメーカー（システムインテグレータを含む）およびロボットユーザーがリスクアセスメントにもとづく適切な安全対策を講じることや、国際安全規格に準じた安全対策（ISO 12100:2010 にもとづく 3 ステップメソッドなど、図 3.3.1-2）を講じることを求めている（*2)にもかかわらず、中小システムインテグレータならびに（自動車および電機メーカー以外の）中小ユーザー企業の知識レベルが低いままであることである。

■図 3.3.1-2　リスクアセスメントと 3 ステップメソッドとの関係（左）と、3 ステップメソッドの概要

＊2：改正・労働安全衛生規則第 150 条の 4 では、リスクアセスメントにもとづく 3 ステップメソッドの実施を強く求めていることが伺える。具体的には、保護方策および付加保護による対策（2 ステップ）として、「さく又は囲いを設ける等」の「等」として、「産業用ロボットの稼働範囲に労働者が接近したことを検知し、検知後直ちに産業用ロボットの作動を停止させ、かつ、再起動の操作をしなければ当該産業用ロボットが作動しない機能を有する光線式安全装置、超音波センサー等を利用した安全装置、安全マット（マットスイッチ）等を備えること。」を明記。また、使用上の情報による対策（3 ステップ）として「産業用ロボットの可動範囲の外側にロープ、鎖等を張り、見やすい位置に「運転中立入禁止」の表示を行い、かつ、労働者にその趣旨の徹底を図ること。」「マイク等で警告を発すること等により産業用ロボットの可動範囲に労働者を立ち入らせないようにすること。」を 3 ステップ（使用上の情報による対策）として明記している。

これに関連する資料として、『設備の安全確保におけるシステムインテグレータの役割に関する調査』（三菱総合研究所、2011 年）を参照すると、「一般的な中小企業では安全基準を有していないことに加え、こうした企業からは安全に関する要求仕様が出てくることはないこと」。また、「中小システムインテグレータはユーザーの仕様を満足するので精一杯で、安全性に関する国際規格を確認していない。要求仕様を満たすのみ」といったことが明らかにされている。

結果、（中小）ユーザー企業の要求からシステムインテグレータが設備の安全性確保に妥協を強いられたり（本来は妥協することはあってはならない）、システムインテグレータが未然防止策として安全防護装置をセットアップしていたとしても、中小ユーザー企業がそれを無効化したりする製造現場が数多く見られる。一方、自動車メーカーは産業用ロボットの運用ノウハウに加え、社内の安全基準にもとづいてリスクアセスメントや Verification（検証）＆Validation（妥当性確認）を実施しており、また、大手産業用ロボットメーカーでは、ユーザー企業への安全教育を通じて、残留リスクの引き継ぎを適切に行っている。このように、産業用ロボットを含む設備機器の安全に対する取り組みは、

企業規模や経営者の考え方に大きく依存しているのが実情である。

参考となるが、厚生労働省 産業基準局が 2012 年 7 月に実施した『産業用ロボットの労働災害等に関する実態調査』によると、調査した 190 事業所において、労働災害に至らなかったものの、労働者が産業用ロボットのマニピュレータに接触しそうになった例が計 37 件把握されている。そして、産業用ロボットは機体の外部空間を自動的に作動しながらも、その作動方向および順序などが判断できないという特徴が、こうしたヒヤリ・ハットにつながっていると指摘しており、安全対策が必須であることが伺える。

3.3.2　セーフティ・システム・インテグレーションの啓蒙

このような課題解決に向け注目されるのは、日本機械工業連合会が提唱している「セーフティ・システム・インテグレーション」である。システム全体に対してリスクアセスメントを実施することをこう定義しており、さらに説明すると、リスクベースの考え方にもとづき、制御ゾーンと制御ゾーン間のインターフェースで生じる問題を解決し、安全な作業現場を構築することとの説明がなされている。

具体的には、システム（全体）リスクアセスメントの実施に加え、リスク低減策（保護方策）の実施、Validation（機能安全における「V モデル」の実践など）、ドキュメントの整備（技術ファイルや適合性宣言書など）を担う。改正・労働安全衛生規則では、技術仕様書や取扱説明書などの技術ファイルに加え、安全規格の関連規定を満たしたことを宣言する適合宣言書の作成および提示を求めており、実質的にこれらの実施を求められたことになる。

一部システムインテグレータなどでは、セーフティ・システム・インテグレーションを先取りして、社内に「セーフティアセッサ」の資格を持つエンジニアを抱える事業所があるが、このような専門人材は依然として少ない。とりわけ、中小システムインテグレータや中小ユーザー企業では、こうした専門人材の育成および確保は非常に困難であり、場合によっては、これらの代行サービスを担う企業の育成が求められるだろう。

少なくとも、今回の改定は、セーフティ・システム・インテグレーションの啓蒙普及ならびに、それによる専門人材の育成を喫緊の課題にしたといえ、関連団体には教育の機会創出に努めてもらいたい。

■図 3.3.2-1　北九州市が北九州学術研究都市で開講した「ロボット道場」

地場企業のロボット導入支援を目的に 2013 年 10 月に開所したが、今後は、こうした地方機関を活用して中小システムインテグレータならびに中小ユーザー企業に安全技術を指導していくことが求められる。

また人材育成と併せて、安全性確保にかかる妥当な目標設定のための責任区分の明確化および合意にかかる問題を議論し、その仕組みを指導していくことも求められる。

労働安全衛生規則では、その性格上、ユーザー企業のシステム採用責任者に最終的な安全性確保の責任があるとされるが、上述の通り、中小ユーザー企業におけるこうした人たちは専門知識が不足している。そのために、システム承認が名目的なものとなり、事故防止の責任所在があいまいになりがちである。事故が発生した場合は、システムインテグレータ側のシステム承認者にも責任があることから、双方に責任があるとして、結果、誰も責任をとらないことがまかり通っているのは、その典型である。

ゆえに、中小ユーザー企業においては、安全技術の評価能力を持つ人が安全管理者に助言してシステム承認をさせる、または、上記の通り、助言を担う外部の専門家の支援を受けることで承認の裏付けを担保するといった仕組みの構築と指導が必要であろう。さらにいえば、安易な安全への妥協を防ぐために、ユーザー企業とシステムインテグレータによる Validation にかかるプロセスを、組織的に分けるよう規定（義務化）し、指導することも求められる。

このようなシステム承認にかかる責任区分の明確化と合意にかかる啓発および事例提供は業界団体が担うべきであり、日本ロボット工業会が主体的に取り組まれることを期待する。なお、セーフティ・システム・インテグレーションを提唱する日本機械工業連合会では現在、2014 年度に「同宣言」の提示に向け準備を進めていることを追記しておく。

3.3.3　80W 規制の正しい捉え方を

今回の改正において、もう１つ懸念されるのは、一部でロボットの導入促進のための「規制緩和」のごとく受け取られたことである。

確かに、今回の改正により人とロボットの協調作業が可能となり、従来設備を利用しつつ設置スペースをとらずにロボットを導入できるようになる。中小製造業に加え、産業用ロボットがあまり利用されていない 3 品業界（食品・医薬品・化粧品）へのロボットの導入につながる可能性が広がるかもしれない。

しかし、産業用ロボットメーカーによってのビジネスチャンスは、このような導入台数の拡大ではなく、協調作業の実現のために、自社製品（ロボット）に各種セーフティコンポーネントを取り込むことで、安全性確保にかかるソリューションの選択肢の拡大につながることにある（ただし、大前提として人とロボットが協調作業することに価値があるかを精査しなければならない）。これまで軽視されがちであった「セーフティ」を切り口に、ビジネスを拡大できるうえ、わが国が欧米に対しやや後発にある安全技術を高めていく機会を得たことに大きな意義がある。

また、従来法によるロボットの適用範囲の制限がロボット適用ラインの海外展開を加速しており、今回の改正が製造業の国内回帰につながるとの声も一部であったが、海外展開の判断は投資効果にあり、労働安全衛生法とは直接的には関係ない。正しい見方にもとづいて議論がなされるべきである。

今回の改正を通じてなお、産業用ロボットメーカーならびにシステムインテグレータがユーザー企業に安全なシステムを提供するという本質はなんら変わりない。また、“安全を規制緩和”することはあり得ないことを、産業界全体として十分理解されることを望む。

3.4　産業用ロボット市場のグローバル化

2010年代以降、日本の産業用ロボット市場は、2008年秋の「リーマンショック」からの急回復を果たし、年間出荷台数は過去最高水準となる10万台規模を維持している。2012年は10万2,184台、2013年は10万870台の出荷台数を記録している（日本ロボット工業会会員ベースの数値)。ただしその内訳は、2012年の輸出台数が7万4,722台、2013年のそれが7万5,933台と市場のグローバル化が鮮明となっており、これに伴うグローバルコンペティションへの対抗がわが国ロボット産業の最大の関心事となっている。

3.4.1　グローバルコンペティション（中国を中心に）

リーマンショックの頃は、中国市場での急速な需要拡大のみが目立ったが、その後は日本や欧米各国への製造業の回帰、また、東南アジアなど新興国での需要増など新たな動きが見られる。このような市場拡大に伴い、特に、アジア各国では新たなロボット産業が動き始めており、直交型やスカラ（水平多関節）ロボットの国産化に取り組んでいる韓国では、アジア圏での需要拡大を見込んで新たな製品開発を加速。台湾では中国大陸における需要増を見込んだロボットメーカーの起業が見られる。中でも、日本のロボットメーカーが注目するのは、国策として製造設備の高度化を目指している中国であり、今後は中国製ロボットとの競争は不可避との見方がなされている。

その中国における産業振興に触れておくと、現在（2013年）は「第12次5カ年計画」の策定（2011年3月）を受け、2012年3月に国務院（内閣府）が公表した「工業の変革・高度化に関する5カ年計画」にもとづいて取り組まれている。同計画では潜在成長力が高い新興産業（＝「戦略的新興産業」）として7分野(*1)をあげており、そのうちの「ハイエンド設備製造産業」分野として、航空設備と人工衛星設備、鉄道輸送設備、海洋技術設備、インテリジェント生産設備を明記している。

産業用ロボットの産業振興策はインテリジェント生産設備に包含されており、NC工作機械や自動制御システムなどを合わせた「智能製造装置産業発展計画」の中で取り組まれている5カ年計画では、2010年は3,000億元だったインテリジェント生産設備の年間売上高を、2015年には1兆元（約12兆2,000億円）に、2020年には3兆元（約36兆6,000億円）に拡大することを目標に掲げている（括弧内の日本円は、2012年発表当時の為替レートで換算している)。

＊1：ハイエンド設備製造産業のほか、「省エネ・環境保護」「新世代情報技術」「バイオ」「新エネルギー」「新材料」「新エネルギー車」がある。ハイエンド設備製造産業のみで6兆元規模にすることを目標に掲げている。

彼らの現状分析としては、長年にわたり労働集約型産業の競争力を維持してきた弊害によりイノベーション能力が低く、自主開発能力の欠如に大きな弱点があると捉えている。そこで、同計画では自動制御システムや産業用ロボットに加え、センサやサーボ機器などの要素技術でブレークスルーが必須とし、その促進に向け国主導による施策を進めている。

具体的には、1 つは「専」「精」「特」「新」と、それぞれ 4 つの特徴を備える企業の創設である。これらは「戦略専門化」「発展精深化」「製品特色化」「新型化」の略であり、それぞれ戦略立案の専門企業と、産業発展を担う企業、特殊製品や分野をつくる企業、新技術の開発を担う企業と解釈される。これら 4 タイプの企業をバランス良く創設し、かつ各地に集積させることを目指している。

もう 1 つは、「産学研」によるイノベーション体系の構築ならびに人材育成であり、上述の企業集積と併せて取り組むことでブレークスルーを達成しようとしている。ここで「産学研」と表記しているのは、「官」が介在するのは当然との認識によるものであり、このような国が直接的に企業の創設および集積をしようとする試みは、民間企業の活動に多くを委ねる他国では難しく、まさに中国ならではといえる。なお智能製造装置産業発展計画は、工業情報化部が担っている。

このような政策のもと、ここ数年、現地ロボットメーカーがいくつか登場しており、中でも、中国科学院の藩陽自動化研究所の技術移転を受けて設立した新松機器人自動化股份有限公司と、NC 工作機械メーカーからの参入となる広州数控設備有限公司の 2 社がリードしている(図 3.4.1-1)。前者は、垂直多関節やスカラ、直交型など国策企業らしく各種タイプを取り揃えており、後者は垂直多関節を中心に製品構成を充実している。

■ 図 3.4.1-1　新松機器人自動化股份の垂直多関節ロボットのデモ（左）と広州数控設備によるビジョンセンサを用いたピッキングのデモ（右）

写真には映っていないが天井に設定したビジョンセンサによりコンベヤ上のワークを認識してピッキングを行っている。ただし、トラッキングしながらのピッキングはできていない（いずれも 2012 中国（上海）国際机器人展覧会で撮影）。

ただ、中国機械工業連合会が認めるように「2012年時点で中国製ロボットは日本製の70%程度の性能（パフォーマンス）」（2012 中国（上海）国際机器人産業推進大会資料より）としており、また、繰り返し精度は 2 倍程度の差があるとされる。例えば、広州数控設備が「参考にしている」と公言する安川電機製ロボット（MOTOMAN-MH シリーズ）と比較すると、可搬重量3kg の 6 軸垂直多関節ロボットでは、最大速度は各軸平均で85%程度、繰り返し位置決め精度は、安川電機の±0.03mm に対し広州数控は±0.05mm。可搬重量50kg では、繰り返し位置決め精度はともに±0.07mm と同等だが、最大速度は各軸平均で52%程度にとどまる（＊2）。

このような両社の差は、中国製ロボットがキーパーツを日本製に依存しており、かつ、同様のキーパーツを利用しながらも性能を十分に引き出せない組立技術などの未熟さにある。ゆえに、中国製ロボットとの競争を優位に進めていくためには、キーパーツを押さえつつ、残りの 30%程度のパフォーマンスの差をいかに維持（堅持）していくかにあるとの見方がなされている。

＊2：ただし、2012年当時の比較。また、安川電機のロボットはハンドリング・組立用途のものをあげたのに対し、広州数控のロボットは各アプリケーションに対応したロボットを用意していないため、必ずしも適切な比較になっていないことを断っておく。

3.4.2　過当競争の回避を

一方、日本のロボットメーカーに目を向けると、2013 年は、相次いで中国生産を開始した記念すべき年となった。2 月には不二越が中国・張家港市の工場でロボット生産を開始。6 月には安川電機が世界最大級のロボット工場を中国・常州市で稼働を始めた（図 3.4.2-1）。また、川崎重工業は2015年度に中国生産を開始することを決定しており、これでファナックを除く日系大手メーカーが中国に工場を持つことになる。

■ 図 3.4.2-1　安川電機が中国・常州市で稼働した工場での組立作業の様子

各社が中国生産を始めた背景には現地の恒常的な労働者不足にあり、同国の経済成長に伴い、若者労働者がモノづくり（工場労働）を敬遠する風潮が顕著に見られ、一部地域では工場労働者が不足傾向にある。特に、いまもなお成長著しい東岸地域では高推移で賃金の高騰が続いており、中国製造業にとってロボット導入による生産コストの低減が喫緊の課題となっている。

ここ 1、2 年、中国経済全体としてはやや冷え込んだ感はあるが、産業用ロボットについては好調を維持し続けており、例えば、安川電機は現在、月産 200 台のペースで中国での生産を行っており今後、さらなる設備投資により生産台数を拡大する計画。2013 年以前から現地生産を行っているセイコーエプソンも、中国工場の生産台数を引き上げる。現在は日本と中国の 2 拠点でロボットを約半分ずつ生産しているが、2 年以内にほぼ全量を中国生産に切り替える方針を掲げている。

このように、中国での生産・販売が拡大する一方で、ロボットの単価が下落し、収益の低下が大きな問題となりつつある。日本ロボット工業会の調べによると、ロボットメーカーが中国で販売を伸ばし始めた 2011 年は、産業用ロボットの出荷台数が約 12 万 2,000 台で、出荷額が約 6,000 億円だった。2012 年は出荷台数が約 11 万 5,000 台で、出荷額は約 5,400 億円となった（会員外の数値も含む)。

単純計算で 2011 年に 1 台当たり約 491 万円だったロボットの価格は、2012 年に約 470 万円に下落しており、この傾向は 2013 年も継続している。明らかに低価格競争が進展しており、しかも、中国製ロボットが現地企業からの信頼を獲得するに至らず、きわめて単純作業での利用に限定されている実態を踏まえると、日系ロボットメーカー同士で助長していることが伺える。100 万円を切る低価格のスカラロボットをはじめ日系ロボットメーカー各社が中国向け戦略機種として投入した廉価版（単機能）ロボットを販売して以降、自らで過当競争を引き起こしている。

こうした方向性は、短期的な経営戦略としてはアリだろうが、中長期的な視点で見た場合、やがて訪れるであろう、中国現地メーカーを巻き込んだ本格的な価格競争に耐えられるとは考えにくい。安易な価格競争を仕掛けるのではなく、コストパフォーマンスとトータルコストに着目した技術力、つまり生産財としてのロボットの国際競争力にもっとこだわるべきであろう。

3.4.3　生産財としての価値追求へ

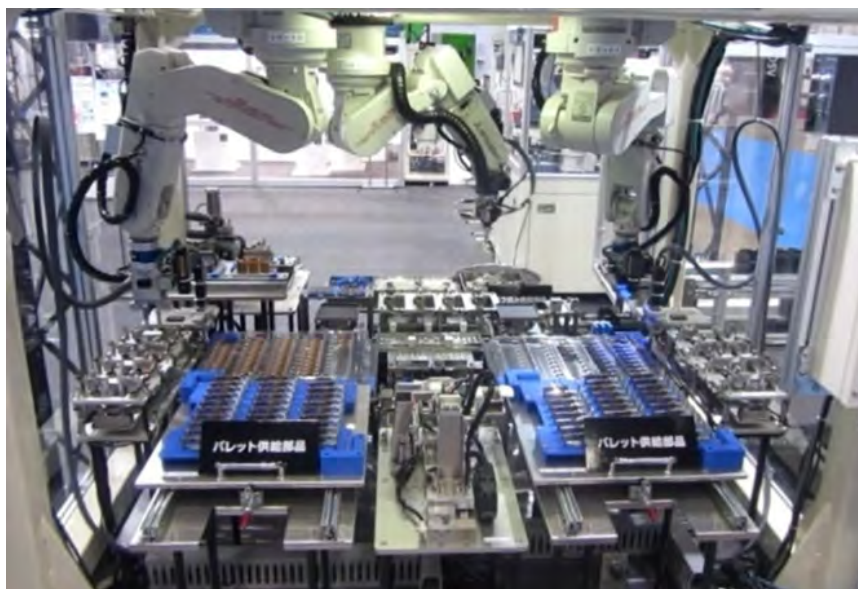
その方向性の１つは、「3.2」で述べた産業用ロボットの地道なイノベーションの推進であり、もう１つが、システムインテグレーションとしての国際競争力の向上である。

産業用ロボットは、いわば「半完成品」であり、システムインテグレータが他の生産設備とシステムインテグレートをしたり（例えば、同期を図ったり）既存システムに組み込

んだりすることで初めて生産財として価値が生まれる。実際、ロボットを使用した生産システムの価格は、簡単なシステムでもロボット単価の 2 倍、複雑な組立システムの場合では、ロボット単価の 10 倍にもなる。ゆえに、生産財としての産業用ロボットの価値の追求には、システムインテグレーション力の向上が欠かせない。

また、わが国の場合、産業用ロボットメーカーはシステムインテグレータによるシステムインテグレート例を受けて、新たな可能性を産ロボに埋め込み、機能強化を図り、システムインテグレータはこれを生かして新たな分野や用途にトライするというサイクルによりアプリケーションの拡大が果たされてきたという理由もある。

今後、ロボットを活用した、より価値ある高度な自動化システムにトライしていくには、ロボットメーカーとシステムインテグレータ、ロボットユーザーの三者による協業が必須であろう。特に、ロボットメーカーは高度な自動化システムを実現するための力覚センサやビジョンシステムなどの取り扱いに関するノウハウをセットで提供することが必要となる。

例えば、第 5 回ロボット大賞にて「日本機械工業連合会会長賞」を獲得した三菱電機の知能化組立ロボット「F シリーズ」は、その参考例となる（図 3.4.3-1）。同ロボットの活用によりシステムインテグレータの提案の幅が広がるうえ、ロボットユーザーとのつくり込により、ロボットセルをはじめ高度な自動化システムの実現につながると期待される。

■ 図 3.4.3-1　知能化組立ロボットを用いた組立ロボットセルシステム

複数ロボットによる協調制御や干渉回避機能、力覚制御などを知能化ソリューションとして搭載。開発環境「RT　ToolBox2」などを用いてシステム構築が行えるなど、これら知能化ソリューションを容易に扱えるように配慮している点に特徴がある。

また、これまでのシステムインテグレータとの良好な関係性を考慮すると、彼らの海外展開も望まれるところである。中国をはじめ海外の生産現場で使用されるシステムは、いずれは現地調達へと移行するのは必至であるからであり、また、多くの生産システムは小規模なカスタム工事が多く、彼らの機動力が欠かせないからである。

中国市場においては、例えば三菱電機が 2014 年に、上海市の現地法人を中心にシステムインテグレータを集めたパートナーグループを立ち上げることを表明したり、川崎重工業が提携社数 100 を目指してシステムインテグレータの発掘をはじめたりするなど、現地法人との提携が進展している。その一方で、現地システムインテグレータを信頼しておらず（信頼しすぎない)、やはり国内システムインテグレータの海外展開を望む声が根強い。

ただ、システムインテグレータそれぞれの海外展開は事業的なリスクを伴いがちであり、特にインテグレーションにかかる契約と業務範囲に関する課題解決に向けた支援が求められる。そもそもシステムインテグレートは手離れが悪い業態であり、仕様の変更が頻繁に発生する。国内であれば見積もりの範囲内か、それとも追加仕様かといった判定は、お互いの信頼関係を背景に「よきにはからえ！」で済まされようが、中国など海外では通用しない。

また、運用時の安全性などの確保は、顧客から明確な要望がなされなくても国内では当然のように実施され、見積もりに反映されるが、海外では見積もりから除外されることが想定される。こうした国情や商習慣を乗り越え、安全にビジネスを展開するためには、システムインテグレータ自身が機能や役割を自ら定義し、契約に反映することが必須であり、関連業種間や関連企業間、業界団体などとの協業を通じた支援が必要であろう。例えば、海外企業との契約について、日本ロボット工業会より国別での契約サンプルなどが提示されてもよいだろう。

本節では、市場のグローバル化に伴うグローバルコンペティションへの対抗がわが国ロボット産業の試練となっており、そのカギは安易な価格競争ではなく、あくまで生産財としての価値の追求にある。そして、地道なイノベーションの推進とグローバルでのシステムインテグレーション力の向上が求められることを述べた。少なくとも、ここ数年、中国市場で日系ロボットメーカー同士が繰り広げた過当競争は改められるべきであり、ロボット業界をあげて生産財としての価値を追求することで、グローバル市場においても安定的に収益を上げられるように努めるできであろう。

4章　先進ロボット（非産業分野向けロボット）開発の現状と課題

4.1　先進ロボットの開発・普及の動向

4.1.1　介護ロボット（ロボット介護機器）の動向

高齢化社会の進展に伴い、介護保険の総費用は増大傾向にある。厚生労働省によると介護保険制度が創設された2000年度の総費用は3.6兆円だったが、2012年度には8.9兆円と倍以上に増加。その多くが介護者の人件費に投資されており、各種テクノロジーの積極投入により、これら社会保障費の圧縮に結び付けることが企図されている。

その代表格が介護ロボット（ロボット介護機器）であり、経済産業省と厚生労働省は、2013年度から「ロボット介護機器開発・導入促進事業」（詳細は「4.2」参照）を開始し、現在（2014年2月）までのべ45件のロボット開発案件を採択。参加企業は、低価格（究極的には10万円程度の価格）で使えるロボットをスローガンに開発を加速させている。

また、2014年2月には「ロボット技術の介護利用における重点分野」を改定して「移乗介助」「移動支援」「排泄支援」「認知症の見守り」の4分野に加え、「入浴支援」を追加。また、トイレへの往復を支援する「歩行支援機器」と「在宅介護向け機器のプラットフォーム」「浴槽への出入りを支援する機器」の3項目を追加し、5分野8項目に拡大している。

■図 4.1.1-1　「ロボット介護機器開発・導入促進事業」以外で最近、公開された介護ロボット。歩行支援や歩行トレーニング（リハビリ）用途で複数システムが提案されている。左から東海ゴムの「歩行アシストスーツ」、今仙技術研究所の「片脚式歩行支援機」、ホンダの歩行支援システム。

介護ロボット分野への参入企業が増加しているのは、上述のような社会の要請や施策に加え、介護機器の保険対象の拡大がある。介護保険の対象となる福祉用具は3年ごとに見直されており、2015年度に予定される介護保険制度の見直しに伴い、介護保険適用品の拡

大が予定されるが、その中に介護ロボットも包含されると見られている。保険適用がなされれば購入費用の 9 割を保険でまかなうことができ、結果、介護ロボットの導入が容易となり市場拡大が見込まれる。例えば、矢野経済研究所は同年度より、上記事業の成果物が上市場されることで市場が本格化すると見ており、介護ロボット市場は、2015 年度に 23 億円、2020 年度には 349 億 8,000 億円にまで拡大すると予測している(2012 年度は 1 億 7,000 万円)。

実際、保険適用された介護ロボットの成功例が出始めており、例えば、大和ハウス工業が総代理店として取り扱う自動排泄処理ロボット「マインレット爽」(エヌウィック開発)は発売以来、福祉機器のレンタル事業者を中心に、2013 年 10 月時点で 260 台以上を販売している。同ロボットは介護保険の対象機器に認定されており、利用者はレンタル事業者から月 5,000 円程度と低価格で借り受けることが可能。大和ハウスでは、介護保険の適用が普及を強力に後押ししたとしている。

また、上記の矢野経済研究所の市場調査では、2012 年の介護ロボット市場の内訳は、同ロボットが 1 億 2,000 万円と全体の 7 割を占めており、保険適用の効果がいかに大きいかが伺える。加えて、経済産業省では 2014 年の早い段階で介護ロボットの購入補助制度を創設することを検討しており、保険適用の拡大との相乗効果により、より強力に普及を後押しするものと期待される。

■図 4.1.1-1　大和ハウスが販売を手がける自動排泄ロボット「マインレット爽」

ここからは現在、介護ロボット分野で注目されているプレーヤーをいくつか取り上げる。

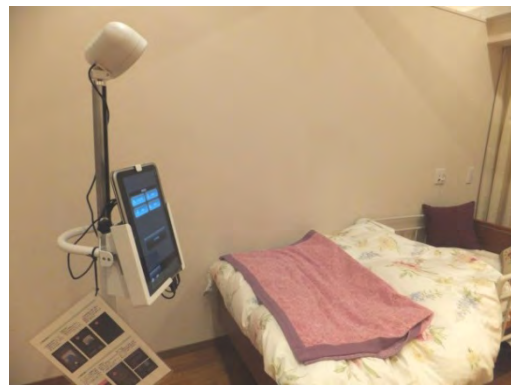
まず 1 つは、上記のロボット介護機器開発・導入促進事業に参加するマッスル(大阪市)。2012 年の「国際福祉機器展 H.C.R.2012」に移乗介護ロボット「ROBOHELPER　SASUKE」(外観写真は 4.3.1 節参照)を公開して以来、中小製造業による介護ロボット分野への代表的な参入例として知られており、同事業でも有力な移乗支援ロボットの 1 つにあげられている。

同ロボットの最大の特徴は、左右のアームを専用シートの両端に挿入し、それごと要介護者を移乗する方法にある。シートにより体幹を支持することで安定して移乗できるうえ、このような移乗方法によりシステム本体の簡素化を可能にしている。また、アームは左右方向（伸縮動作）に加え、アームを搭載する本体上部の斜め60度までの回転運動と上下動を組み合わせての動作が可能。各駆動軸に最高出力 45W と低出力モータ（同社製）を使用しながらも、最大で約50倍のパワー増幅を可能としており、女性でも容易に移乗介助ができるようにしている。ただし試作 1 号機の段階のため本体重量が大きく、またシートごと移乗を行うため、その素材選定が今後の課題としている。

また、マッスルは積水ハウス工業と共同で、高齢者住宅の介護支援などを目的に、住宅内におけるロボット技術の研究開発にも着手しており、上述の移乗介護ロボットの活用を通じて、要介護者が風呂や戸外へスムーズに移動でききるような空間設計の検証や、マッスルのモーションコントロール技術を活用して、HEMS（Home Energy Management System）による温熱環境制御に合わせた開口部の自動制御の研究に取り組んでいる。積水ハウス総合研究所「納得工房」にて共同研究・検証を開始し、2014 年内には実際の居住空間でも検証を行うことを計画している。

次は、ユーザー企業となるオリックス・リビングである。2013年8月に大阪うめきた（大阪市北区）のグランフロント大阪のナレッジキャピタル内に介護の研究・開発・創造拠点「イノベーションセンター」開設。同社が運営する有料老人ホーム（グッドタイムリビング）の居室および浴室を再現ししており、医療・介護機器メーカーと共同で実証実験などを実施している。ロボット介護機器開発・導入促進事業に参画するマッスルやNKワークス、村田製作所のほか、国際電気通信基礎技術研究所（ATR)、トヨタ自動車、ミズノなどが参画している。

また、オリックス・リビングは将来的な自社施設での活用を視野に入れ、介護ロボット分野への参入を検討する企業のアイデア出しにも協力している。2014 年 1 月には同センターを活用したアイデアワークショップを開催した（主催は大阪市都市計画局)。参加者に麻痺や視覚障害などを疑似体験してもらったり介護機器に触れたりしてもらいつつ、グループ討議を通じて、介護ロボットなどを構想してもらっている。

開発側から提示される介護機器や介護ロボットは技術主導（モノありき）であるばかりか、ステレオタイプ的な介護の困りごとをイメージして開発がなされるきらいにあり、結果、介護現場で忌避されることが多い。これに対し、オリックス・リビングのようなユーザー側が介護現場の紹介を通じて、実際に現場が必要とする省力化や、それを用いたサービスイノベーションを志す姿勢を示すことは、介護ロボットなどの実用化を図るには有意な取り組みであり、継続的な活動が期待される。

■図 4.1.1-2　オリックス・リビングが開設したイノベーションセンター（アイデアワークショップの様子（左)、NK ワークスの見守りシステム（右))

3 つ目は、欧州を中心に海外市場で先行しての実用化に取り組む CYBERDYNE 社である。2013 年 8 月には EU 市場で医療機器としての販売で必須な CE マーキングを、ロボットスーツ「医療用 HAL(*1)」で取得（*2)。また、ドイツでは労災保険も適用済みで、労災でケガを負った人は、保険適用により HAL を使える環境が整っている。さらに、HAL 医療用を用いて脳神経疾患の患者の機能改善治療に当たる新会社をドイツに設立するなど事業化のペースを加速している。

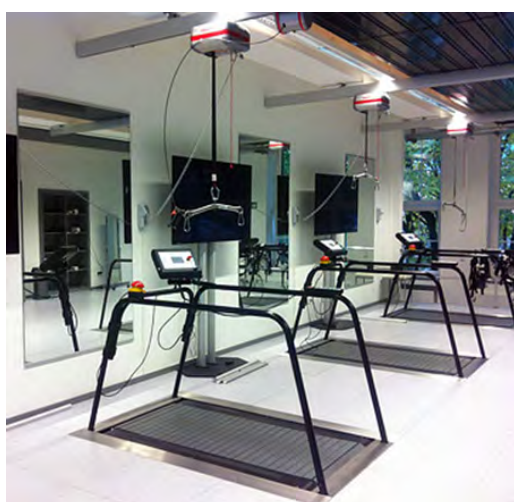
今後、ドイツ国内での普及に向け、まずは公的保険を受けるための試験環境や運用管理システムを構築し、脳・神経・筋系の疾患患者を対象にした実証プロトコルを作成してデータの収集・分析に当たる。さらには EU 各国への普及を果たし、将来的には、その実績を背景に日本市場への“逆輸入”を図るものと見られている。

＊1：国内では、国立病院機構 新潟病院がロボットスーツ「HAL-HN01（医療用 HAL)」の治験を実施している。HAL のアシスト力により筋肉の過度な疲労が軽減されるという仮説のもと、脊椎性筋萎縮症（SMA）や筋萎縮性側索硬化症（ALS)、筋ジストロフィーなどの神経・筋疾患患者に HAL-HN01 を短期間、かつ間欠的に装着してもらい、歩行改善や疾患症状の進行抑制効果などを検証している。厚生労働省の科学研究費補助金「難治性疾患等克服研究事業」（平成 24 年度）で取り組んでおり、複数病院が実施している。

＊2：認証に関連すると、CYBERDYNE 社は 2013 年 2 月にロボットスーツ「HAL 福祉用」でパーソナルケア・ロボットの国際安全規格「ISO/DIS　13482」の安全認証を、「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の成果の一環として、日本品質保証機構（JQA）から受けている。同規格での第三者認証は世界初となる。また、2014 年 2 月には、同プロジェクトに参加するパナソニックが車椅子月ベッド「リショーネ」で、ダイフクが高速ビークル（無人搬送車）の「エリア管理システム」で、それぞれ ISO　13482 の認証を取得している。IS 版での認証取得は世界初。なお、CYBERDYNE 社は 2013 年 1 月に医療機器産業向けの品質マネジメ

ントシステム規格「ISO　13485」の認証を取得し、医療用 HAL の開発の実用化を急いでいる。

そのほか、海外市場で先行的に取り組んでいる例には安川電機の活動があり（*3)、脳血管疾患患者の運動機能回復に役立つリハビリ装置を中国市場で先行販売することを計画。中国は、日本のような保険制度はないものの資金余力を持つ富裕層（約 2 億人が存在するといわれる）が多く、また、日本国内では医療保険の適用範囲にかかる審査時間を要するというのがおもな理由で、中国で実績を積み上げることで早期の事業化を目指している。

＊3：安川電機は 2013 年 9 月に、歩行アシストスーツの開発を手がける、イスラエルの Argo Medical Technologies 社と資本提携と戦略的協業に関する契約を締結。同社の歩行アシストスーツ「ReWalk（リウォーク）」を、安川電機が日本やアジアで販売することで合意している。

■図 4.1.1-3　実証実験がなされるリハビリセンター。NEDO の国際研究開発・実証事業として、ノルトライン・ヴェストファーレン州 経済エネルギー省と共同で、ボーフム市内の病院で実施する。

最後に、これら介護ロボットの普及に向けた課題に触れておきたい。保険適用の拡大ならびにリスクを担保する保険制度の構築（責任分担構造の構築などの詳細は「4.2.2」節を参照）は、他でも述べられているため、ここでは異なる視点で述べる。

1 つは、リスクコミュニケーションを通じてのユーザー側への残留リスクへの受け渡しと安全方策の実施である。ISO 12100:2010 にもとづく 3 ステップメソッド（詳細は「3.3.1 節」を参照）の 3 ステップ（使用上の情報による対策）に当たるもので、例えば、ロボットスーツ「HAL 福祉用」を提供する CYBERDYNE 社では、これに相当する教育訓練を（現場監督者に当たる）理学療法士などに行っている。ただ、理想をいえば、使用上の情報による対策を通じて、ユーザー企業自身が作業マニュアルや作業チェックシートを作成するなど

安全方策を実施し、理学療法士などの現場作業者への引き継ぎがなされたうで運用を開始すべきである。

また、介護ロボットのような新規製品では、開発側では想定しきれないようなリスク（危険事象）をフィードバックしてもらうことで安全性確保のための技術構築が図られるべきで、このようなPDCAサイクルを展開する必要がある。特にロボット介護機器開発・導入促進事業の参画企業は中小企業が多く、残留リスクを引き継ぐ作業は困難を極めると想像される。例えば「3.3.2」節で述べたように、専門知識を有する企業などが支援をしたり、さらには、残留リスクの円滑な引き継ぎを目的としたユーザー教育を実施したりすることが求められるだろう。

なお、2008 年より安全技術者の育成を目的に「サービスロボット安全技術者認定講座」を実施している国際レスキューシステム研究機構などでは、こうした課題を踏まえ、ユーザー（企業）を対象にした「サービスロボット安全ユーザー認定講座（仮称）」を構想している。

■図 4.1.1-4　ISO 12100 にもとづくリスクアセスメントのフローと安全対策の手順。介護ロボットの運用で明らかになった危険事象をフィードバックする仕組みの構築が求められる（図提供：ロボリューション　小西康晴氏）。

もう１つは、介護サービスの提供を意識した提供方法である。ひと言でいえば運用モデルの構築および提示であり、特にリハビリやトレーニング目的のシステムでは重要となる。例えば現行法上、医学的な効果を明瞭に謳えないアシストスーツ（ただし医療機器認証を

受けていれば話は別である）では「訓練支援」として運用せざるを得ず、適用患者や適用基準および除外基準、麻痺の状態や、これらへの効果を明確に提示するのが難しく、運用側でエビデンス（利用効果の根拠）を経験的に構築し続けている状況となっている。結果、質の高いリハビリ・プログラムやトレーニングプログラムとしての提供を難しくしており、現場の理学療法士の大きな悩みとなっている（*4)。

導入施設側では、アシストスーツを活用したリハビリ・プログラムの提供を通じて、患者に自宅での自立生活を送ってもらうことを目指しており、そこに顧客価値があると捉えている。したがって、リハビリ・プログラムというサービス提供を円滑に行うための手法や運用方法が示されるべきであり、特にアシストスーツをはじめ介護ロボットのようにシステムが高度であればあるほど、なおさらである。

例えば、セラピーロボット「PARO（パロ）」も販売当初は具体的な運用マニュアルがなかったとされるが、デンマークでの実証実験を通じて、認知症患者などを対象とした運用マニュアルが構築され、高品質なサービス提供が可能になったといわれている。これと同様の取り組みが求められるであろう。

＊4：これと似たケースとして、川村義肢が開発した短義肢装具「Gait Solution（ゲイトソリューション)」(「福祉用具実用化開発推進事業」、2000～01 年度、2003～04 年度、NEDO）がある。立脚初期や踵（かかと）接地時の足関節の動きを油圧制動で、かつ踵接地時の底屈制動をはじめ歩行理論にもとづいた動作を再現しており、安心して麻痺のある側に荷重をかけられる特徴から、発売当時は画期的な装具として話題となった。ところが、制動力の調整をはじめ経験的なエビデンスの蓄積に時間を要し、論文発表などを通じて使いこなせるようになったのはここ数年になってからとされる。

4.1.2　遠隔操作システム（福島原発対応）の動向

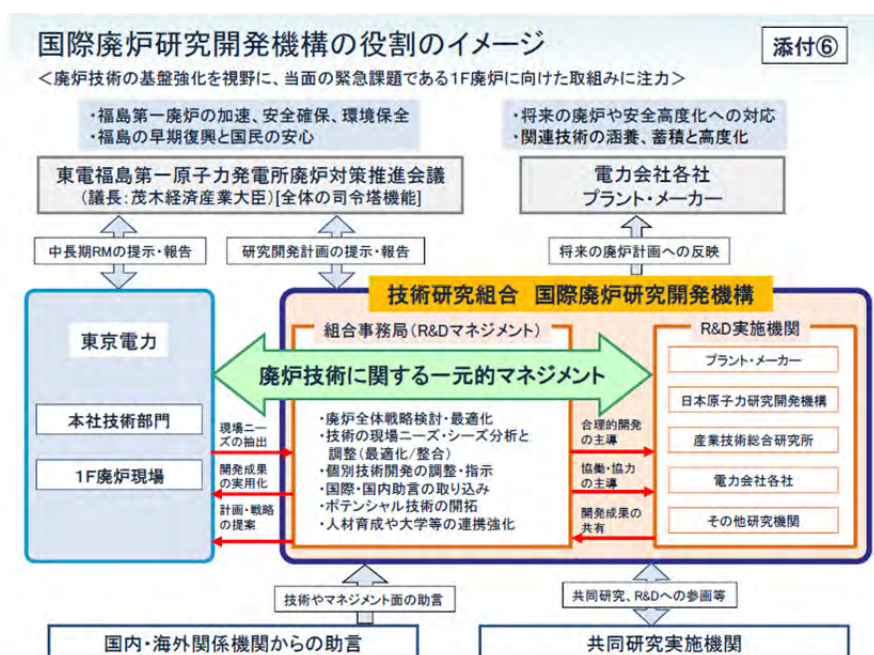
現在、東京電力・福島第一原子力発電所の事故対策ならびに廃止措置は、2013 年 8 月に発足した「技術共同組合 国際廃炉研究開発機構（IRID」を中心に取り組まれている。おもに「使用済燃料プール燃料取出しに係る研究開発」「燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発」「放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発」の 3 つをミッションとしており、また、政府の東電福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議（議長・茂木敏充経済産業大臣）への研究開発計画の提示や報告、電力会社およびプラントメーカーに対する廃炉計画の反映、国内および海外関係機関からの助言の受け皿となるなど廃炉技術に関する一元的なマネジメントも担っている（図 4.1.2)。

2013 年秋～2014 年にかけては計 9 回のワークショップを実施し、これを通じた燃料デブリ取り出しのための代替工法にかかる情報提供依頼（RFI）を行っている。2013 年 6 月27 日に廃炉対策推進会議にて廃炉措置に向けた中長期ロードマップが改定され、燃料デブ

リの取り出しが1年半前倒しとなり（*5）、また、11月18日からは、福島原発4号機の使用済み燃料プールからの燃料取出しが始まり、中長期ロードマップが第2フェーズへと移行した。

第2フェーズでは、2020年以降に格納容器から燃料デブリの取り出しを開始することを目標としており、これを受けてのRFIである。具体的には、原子炉格納容器（PCV）および圧力容器（PPV）の内部調査方法やPCVおよびPPVからの燃料デブリの取り出し方法に関する情報提供を募り、200件の以上の情報提供を得た（一部はIRIDホームページで公開中）。2014年3月末までに分類・整理し、2014年度以降に予定する研究開発プロジェクトにて、概念検討やフィジビリティ研究の提案公募にかかる仕様検討に活用する計画である。

＊5：具体的には、使用済み燃料の取り出し時期は、1号機が2017年度上半期、2号機が同年度下半期、3号機が2015年度上半期となっている（いずれも最速の場合）。また、燃料デブリの取り出し時期は、1号機が2020年度上半期～2022年度下半期、2号機が2020年度上半期～2024年度上半期、3号機が2021年度下半期～2023年度下半期としている。

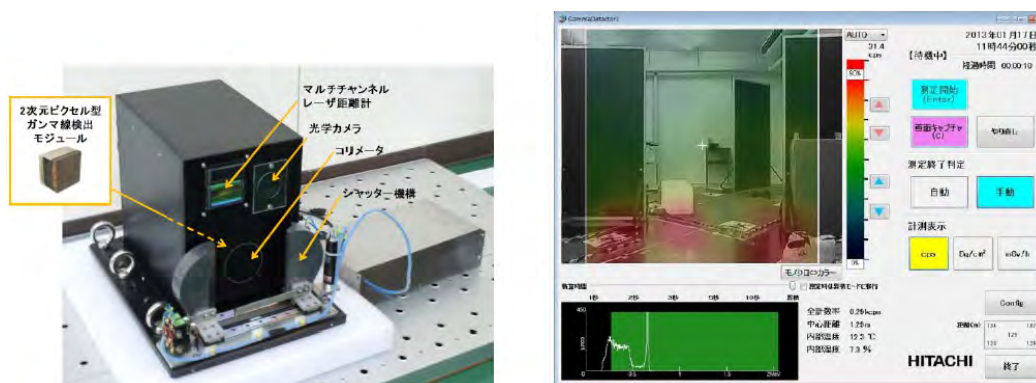
■図4.1.2-1　IRIDの役割（IRID発表資料より）

一方、東京電力による遠隔操作ロボットを用いた各種作業に目を向けると、2012年度実施の「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」（2011年度第3次補正予算、NEDO、成果の詳細は「4.3.1」節参照）の成果が早くも役立っている。最近のトピックスのみをあげると、東京電力は2013年12月末より「発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金（総合的線量低減計画の策定）」と協調しつつ、1号機原子炉建屋1階南側の汚染状況の調査を

実施（*6)。同プロジェクトの成果物の 1 つである、日立製作所が開発したガンマカメラなどを活用している（図 4.1.2-2)。遠隔除染をはじめ線量低減にかかる実行計画の具体化には、線量データに加え、ガンマカメラを用いた線量調査による線源分布の把握が必須となる。遠隔操作ロボットとの組み合わせにより線量マップを作成する目的で運用した。

＊6：同調査は、経済産業省による補助事業「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」にて実施している。

使用したガンマカメラは、300mSv/h の高線量率下でガンマ線の強度分布を測定できるのが特徴。また、ガンマカメラのコリメータ前方にシャッター機構を配置することで高精度な測定を可能にしている。原子炉建屋内は広範囲に汚染されており、計測対象以外から放射されるガンマ線の影響により測定制度が低下する問題を抱える。シャッターを開いた場合は、誤差要因となる周囲のガンマ線とカメラの視野部分からのガンマ線を測定。シャッターを閉じた場合は、誤差要因となる周囲のガンマ線のみを測定し、開閉時のガンマ線の差から、カメラの視野部分からのガンマ線のみを測定可能とした。

調査は、米 iRobot 社の軍用ロボット「Warrior（ウォーリアー)」に線量計とともに搭載して実施。Warrior の走行および測定支援のために無線中継器と光学カメラを搭載した「PackBot（パックボット)」を併せて運用した。これらは原子炉建屋 1 階構内のネットワークを介し、免震重要棟から行っている。調査の結果、1 階南西コーナー付近でホットスポットが確認されたうえ、高線量のメカニズムの推定に役立っている（図 4.1.2-3)。

また、同調査では汚染浸透の深さを確認する目的で、三菱重工業の遠隔操作台車「MEISTeR」も利用。先端アームの片腕にコアドリルを、もう片方の腕にはコア抜き治具をそれぞれ装備しており、コアサンプルの回収を通じて遊離性や固着性を含む浸透汚染の有無を分析・評価している（図 4.1.2-4)。1 号機原子炉建屋 1 階南側での調査を皮切りに、2 号機および 3 号機の高所、さらに全域にて千葉工業大学の遠隔操作ロボット「Rosemary」などを運用しながら調査を実施する計画を立てている。

■図 4.1.2-2　日立製作所が NEDO プロで開発したガンマカメラ（左）とガンマカメラの操作インターフェース（右）

■図 4.1.2-3　2014 年 1 月にガンマカメラを用いて調査を行った際のシステム構成（東京電力提供、公開資料より引用・転載）

■図 4.1.2-4　三菱重工の遠隔操作台車「MEISTeR」を用いたコアサンプル採取装置の概要（東京電力提供、公開資料より引用・転載）。MEISTeR は、2 号機原子炉建屋オペレーティングフロア内のコアサンプルの採取でも活用されている。

そのほか、同プロジェクト以外で開発された遠隔操作ロボットが複数稼働しており、ベント管下部の周辺調査などで東芝の 4 足歩行ロボットが、建屋内の瓦礫などの障害物の撤去作業で日立建機の双腕無人重機「ASTACO-SoRa」が利用されるなど、無人化施工技術と合わせて様々な遠隔操作ロボットが運用実績を上げている（*7）。

＊7:また 2014 年に入ってからは､遠隔技術タスクフォースサプレッションチェンバ(S/C、圧力抑制室）内の水位測定ワーキンググループが開発支援した、超音波により計測を行う水位測定ロボットの実証実験が再開され、運用に向けた準備が進んでいる。

現在のように、各種遠隔操作ロボットが原子炉建屋内で積極運用される下地をつくったのは、国産システムとして初投入された千葉工業大学などの「Quince」といえる。2011 年 6 月 24 日のファーストミッション（水位計の投下および汚染水の採取）を皮切りに、原子炉建屋内での線量計測およびダストサンプリング、環境計測、配管類の調査などで運用実績を上げている。

中でも、同年 7 月 26 日に実施した冷却系配管の調査結果は、1 カ月後には非常用炉心冷却系〔炉心スプレイ（CS）系〕の稼働に役立てられ、その高い冷却効果により（燃料上部からシャワーのように注水して直接冷却）原子炉の安定冷却（2011 年末の「冷温停止宣言」）につながったのはよく知られるところである（ミッションの詳細などは「4.3.1」節参照）。その後、後継機となる Rosemary や、上述の NEDO プロで開発した「Sakura（櫻）」「Tsubaki（椿）」の開発、実運用につなげている。

千葉工業大学の取り組みを通じてロボット関係者の多くが学んだのは、現場ニーズにもとづく迅速かつ適切なカスタマイズに加え、運用マニュアルの構築ならびに教育訓練、導入後の技術相談をパッケージとして提供することの重要性である。災害対応ロボットをはじめ遠隔操作ロボットの実用化には、運用マニュアルの構築に加え、専門オペレータの育成ならびに日常的な教育訓練の重要性が指摘されながらも、ほとんど実施されてこなかった。災害対応ロボットの技術レベルの未熟さもあり、そこまで至らなかったという事情もあるが、このようなパッケージとしての提供が結果、遠隔操作ロボットの社会実装に至るとの考えが広がった。

その後、これに倣うかのように、例えば電気事業連合会は原子力発電所事故収束の支援拠点として、日本原子力発電の研修センター（福井県敦賀市）内の「原子力緊急事態支援センター」（図 4.1.2-5）を設置し、常時、電力会社から 1 社当たり 6 人前後の作業者が訪れ、PackBot や Warrior の操作訓練を実施している。ロボットの管理と訓練に加え、遠隔操作資機材の整備も始めており、2015 年度中には福井県美浜町に移転・施設を格上げし、本格的な開所を目指している。

また、福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議は、福井県楢葉町の工業団地内に原発の実寸台模型（モックアップ）などを併設した研究拠点を設置し、遠隔操作ロボットによる損傷場所の調査や補修技術の研究開発、操作訓練などの実施に向け準備を進めている。

さらに、産業競争力懇談会（COCN）では、将来的な組織構想として、平時における災害対応ロボットの技術開発に加え、実証実験や評価・認証、運用・配備などを担う「災害対応ロボット技術センター」や上記施設などを包含する「災害対応ロボットセンター」を提示している（詳細は COCN 報告書を参照）。

■図 4.1.2-5　原子力緊急事態支援センターでの訓練の様子。訓練場は壁で仕切られており、研修者はロボットのカメラの画面を参照ながら操作を行うようになっている。

東日本大震災が発災して後、福島原発の内部調査に海外製ロボットが最初に運用され、即投入可能な国産ロボットを有していないことに対し（ロボット研究者などに）厳しい目が向けられた。

主因は、10 数年前から指摘（*8）されてきたことでもあるが、ビジネスとしての成立が困難なため産業として成立していない、ロボットを運用する組織が縦割りとなっており連携が図りにくいといったことにあり、研究開発の進展により国際的に見ても技術レベルが高いものの、遠隔操作ロボットの社会実装が一向に果たされなかった。社内実装の困難さはいまもさほど変わらないが、少なくとも、千葉工大の活動を通じて社会実装にかかるヒントが得られ、その議論や活動が本格化しつつあることに大きな意味があると捉える。

＊8：例えば、2001 年発行の『平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書』（日本ロボット工業会、日本機械工業連合会編）

4.1.3　災害対応＆社会インフラ点検ロボットの動向

わが国において、橋梁やトンネルなどの社会インフラや、石油プラントなどの産業インフラは今後、建設後 50 年を経過するものが加速度的に増加するといわれている（*9）。にもかかわらず、これらの老朽化に対応するための維持管理にかかる専門人材が不足するばかりか、ロボットをはじめとする高度技術の投入が遅れている。急速な高齢化に伴う社会保障費の高騰と並び、大きな課題となりつつある。特に 2012 年 12 月に発生した中央自動車道・笹子トンネルにおける天井板崩落事故は、既存インフラの状態に応じた効果的かつ効率的な維持管理・更新を急務とさせた。

＊9：道路橋については、2022 年 3 月に約 40%、2032 年 3 月に 65%に上る見込み。トンネルについては同年同月にそれぞれ約 31%、約 47%に、水門など河川管理施設はそれぞれ約 40%、約 62%に上るとされる。

経済産業省と国土交通省は、2013 年 12 月 25 日に「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」の第 5 回会合を開催し、重点分野として 15 テーマを決定。橋梁やトンネル、河川・ダムの水中個所について近接目視の代替装置などの研究開発を促す。2013 年度内にも直轄現場での検証作業に使う技術を民間企業などから公募し、2014 年 5 月頃に検証技術を選定し、同年 10 月には実際のフィールド検証に入る。

重点分野のうち、橋梁（鋼橋・コンクリート橋）とトンネルの維持管理では、近接目視と打音検査の各代替装置、点検者を点検個所に近づける作業台車を求め、橋梁の桁・床版、トンネルの覆工・坑門コンクリートの不具合発見に役立てる。河川・ダムの水中個所については、ダムのゲート設備や堤体、河川護岸の近接目視を代替できる装置のほか、堆積物の状況を全体像として把握可能な装置を募る。

また、これらの維持管理では遠隔操作ロボットを必然的に多用することとなり、技術的に関連性の深い災害対応関連も重点分野に加味している。土砂崩落と火山災害、トンネル崩落の 3 事象を対象に、具体的には土砂災害と火山災害現場で、災害の全容を把握する高精細画像や地形データの取得装置、土の状態を調べる含水比や透水性の計測装置、トンネル崩落現場では、引火性ガスに関する情報などが取得可能な装置を公募する。土砂崩落と火山災害については、2011 年の台風 12 号による災害で発生した天然ダムでの運用実績を踏まえ、無人化施工技術による応急復旧技術や 2 次災害の発生を防ぐ排水作業の応急対応技術なども求める。

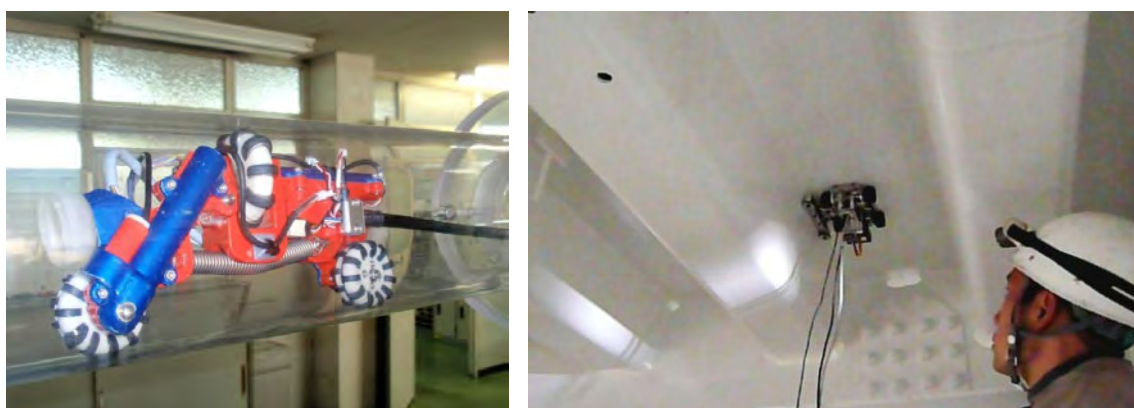
さらに、重点分野の決定を受け、技術の選定や検証・評価を担う「ロボット現場検証委員会」と、開発助成対象を決める「ロボット開発評価委員会」（ともに仮称）を新たに立ち上げる計画。検証委には橋梁とトンネル、水中、災害対応調査、同施工の 5 つの専門部会を設置。また、コンペティション方式の導入により開発活動を活性化するとともに、フィールド検証・評価を踏まえた開発および改良を通じて、より実用性の高いロボットの開発につなげる。フィールド検証の実施場所については、国土交通省の直轄現場として信越大橋（新潟県妙高市）、新浅川橋（東京都八王子市）、支笏トンネル（北海道千歳市）、月山ダム（山形県鶴岡市）、奈良県五條市の土砂崩落（河道閉塞）現場、鹿児島市桜島の火山災害現場が候補にあがっている（事業概要は「4.3.1」節を参照）。

一方、民間レベルでの活動に目を向けると、産業インフラや橋梁の点検を中心にロボットを利用した点検サービスが登場している。

新日本非破壊検査は、配管検査ロボット「マイクロ エルボマスター」を用いてφ100～200mm の小径配管内の検査サービスを始めている（図 4.1.3-1）。同ロボットは福岡県工業

技術センター機械電子研究所と共同開発したもので、LED 照明と CMOS カメラを搭載しており、複雑形状の配管内検査にも対応できるのが特徴。前後上部に取り付けた車輪によって管内を 360 度回転しながら走行する。長さ 30m のケーブルを介して管外から遠隔操作するため、不良個所の発見や撮影が容易に行える。受託検査サービスの料金は 1 日当たり 30 万円程度。電力や化学プラントの腐食やひび割れの発見に向けて提案する。

また、各種点検ロボットを開発し、それによる点検サービスを手掛けるイクシスリサーチは、産業インフラのほか、橋梁の点検でも実績をあげている。その 1 つの橋梁鋼床版超音波探傷ロボットは、通行する自動車などを支える鋼床版に永久磁石で張り付き、超音波の反射時間で mm 単位のひびや欠陥を見つけ出す（図 4.1.3-1）。また、継ぎ手を検査する狭隘部検査ロボットは、橋梁の繋ぎ目の真下にあり、かつ人の肩幅ほどの横幅しかない高さ 25cm の狭所に進入して繋ぎ目部分を撮影。複数枚の画像を組み合わせて異常を調査できる。これらはすでに首都高技術や首都高速道路技術センターと共同で複数の橋梁検査で実施している。

そのほか、橋梁大手の川田工業は仮設の足場などを組まずに、橋梁の下面を CCD カメラ画像で確認できる橋梁点検ロボットを実用化。検査対象は H 形鋼の上に床版を載せた鋼製橋であり、H 形鋼下側のフランジを鼓状の 4 つの車輪で挟み込み、レール代わりにして移動。橋梁の下面をほぼ死角なくモニター画面に映し出すことで、床版下面のひび割れなどを確認することができる。

■図 4.1.3-1　日本非破壊検査の小径配管検査ロボット（左）とイクシスリサーチが首都高速道路技術センターなどと共同開発した橋梁鋼床版超音波探傷ロボット（右）

上記のイクシスリサーチでは、2012 年頃より自社製ロボットを活用して健全性診断サービスを展開している。ロボットを用いて検査対象の欠陥の有無など健全性を確認すると同時に、そのデータを収集し、自社開発のデータ解析ソフトにより分析してデータベース（DB）化。DB 化した地図上にはキズや欠陥場所などが表示され、これを保存することにより経年変化の観察に役立てることができる。勘や経験を備える熟練技能者の退職により経年変化

などの推測を含め検査品質の維持が困難になりつつある中、検査品質を維持できる効果が見込まれている。

ただ、このようなサービスを始めた背景には、点検・検査業務の特殊性（商習慣）がある。検査業務の請負企業は、設備設計・開発などを担当したエンジニアリング企業の孫請け、またはひ孫請けであることが多く、委託した範囲内で業務を遂行すればよいため (*10)、新たな技術を導入してコストダウンを図ろうとするマインドが希薄にある（競争原理が働いていない）。

点検ロボットの運用により点検業務の効率化と同時に低コスト化が図れる可能性があるにもかかわらず、その導入による省力化は、現場作業者にとって自社業務の縮小につながるとの誤解が根強く、運用試験に協力してもらえないばかりか、少しでも不具合が発生すれば「使えない」との烙印を押したがるきらいにある。同社では以前は、各種点検ロボットの売り切りを目指して営業活動を行っていたが、導入に至った例はほとんどなく、またロボットの活用による、より定量的な検査データの提供に価値が見出されたことから、このようなサービスを展開するに至った。

＊10：多くは時間給となっており、また、関連会社（グループ企業）である孫請け、ひ孫請け企業を生かすという意図もあることが、点検ロボットの導入の障壁となる場合がある。

このように、仮に便利な点検ロボットが実用化されたとしても、点検業務にかかる商習慣が最大の導入障壁となる可能性がある。上述の経産省と国交省が取り組む社会インフラとは事情が異なるところがあるかもしれないが、例えば、点検ロボットを積極導入する検査会社に何らかの優遇措置を設けることなどで施設点検市場に競争原理を働くようにし、結果、点検ロボットのさらなる導入を促すといった仕掛け（施策）により、そうした商習慣を克服していくが併せて求められるであろう。

なお、富士経済が取りまとめた「2013 ワールドワイドロボット市場の現状と将来展望」によると、施設点検ロボットの市場規模は、2012 年実績が 2 億 4,000 万円、2013 年は 4 億 1,500 万円（見込み）、2014 年には 6 億円に拡大すると予測。ただし、住宅床下点検ロボットがその多くを占めており、本節で取り上げたインフラ点検用途のロボットの普及はまだまだ先になると見られている。

4.2　これら社会実装にかかる課題

4.2.1　実証実験と社会システムデザイン

ロボットをはじめ新たなテクノロジーを社会システムに実装するためには、それを利用する文化の創出が求められる。それに向け重要になるのが全体モデルと呼べる社会システムデザインであり、例えば、パーソナルモビリティ（搭乗型移動ロボット）の実証実験であれば、都市交通モデルの提示が、その技術提示とともに求められる。そして、様々な要素（技術や制度）やプロセスで構成される都市交通モデルが、やがては文化となる影響力を備え、かつ普及を後押ししてくれる人たちの力を伴うことで社会実装が果たされる。その提示を担う重要な活動になるのが実証実験となる。

現在、わが国においてロボットの実証実験を常時実施し、他地域をリードしているのが茨城県つくば市であり、2011 年 3 月に「つくばモビリティロボット実験特区」の認定を受けて以来、立乗り電動 2 輪車「Segway（セグウェイ）」を中心に各種検証を行っている（図 4.2.1-1)。Segway はすでにワールドワイドで 10 万台以上の販売実績があり、その利用（搭乗）で視線高さが約 25cm 上がることによる視認性と、立ち乗りという搭乗スタイルによる周囲との親和性から、「B to B」では警備・セキュリティの分野で、「B to B to C」ではツーリズムの分野を中心に運用されている。

つくば市における実証実験でも、これらの用途を中心に検証がなされており、2013 年 10 月には、つくば市とつくば観光コンベンション協会、JTB などによる一般市民を対象にした「セグウェイシティツアー in つくば」へと発展している。公道走行によるパーソナルモビリティのビジネスとしては初であり、乗車講習が約 30 分、つくば市街を巡回するツアーが約 90 分という内容で、1 回の料金が 5,000 円ながら、倍率は約 10 倍と人気を得ている。また、同年 9 月には産業技術総合研究所が知能システム研究部門の常勤職員 75 人を対象に、Segway を用いたシェアリング実証実験を開始。産総研とつくばエクスプレス線つくば駅に隣接した中央公園（茨城県つくば市）に設置した 2 カ所の充電ステーションに計 4 台の Segway を待機し、2 地点間の行き来に活用している。

そのほか Segway 以外では、トヨタ自動車が 2013 年 7 月より計 8 台の「Winglet（ウィングレット)」を用いて、産総研とつくば市役所の職員を対象にした初の公道試験を開始し、通勤や外出時の移動に利用している。試験期間は 3 年間を予定しており、2014 年度には需要見込みなどの検証を進める計画としている（NEDO の「IT 融合による新社会システムの開発・実証プロジェクト」として実施)。

■図 4.2.1-1　つくばモビリティ特区での Segway ツアーの様子

ただ、国内で公道走行が可能な唯一のエリアであるにもかかわらず、いまだに実証実験にかかる制約は多い。現状、その実施には警察への届け出が必要なうえ、エリア内の最高速度は 10km/h、また実験中は保安要員として最低 1 人の同伴が必要とされ、走行は幅員 3m 以上の歩道に限定されている。パーソナルモビリティ本来の軽快な走行性を体感するのが難しい状況となっている。

しかも、モビリティ特区が立ち上がった当初は横断歩道での走行が禁止され（車道との認識による）、そこでは降車して移動していたが、緩和されたのは 2013 年 2 月になってからと、つくば市による提言から実現までに約 2 年を要している（*1）。

＊1：これまでの実証実験の実績を踏まえ、カラーコーンなど保安設備の配置要件の廃止、夜間走行といった規制緩和が実現されている。

現在、つくばモビリティ実験特区では、パーソナルモビリティを原動機の定格出力に応じて、道路運送車両法の「小型特殊自動車」または「原動機付き自転車（原付）」に分類し、保安基準の緩和措置を受けたうえで歩道走行を行っている。つまり、原付だが歩道走行を可能にするという“特例扱い”を受けて実施している。

国土交通省が 2012 年 6 月に公開した「超小型モビリティ導入に向けたガイドライン」ではパーソナルモビリティ（搭乗型移動支援ロボット）を「サイズ等によっては、原動機付自転車、又は自動車の区分になりうる」と道路運送車両法の枠内に入るニュアンスを記載しており、これに即した解釈となっている。しかし、パーソナルモビリティの利用目的からすると、この解釈には無理があり、すでにつくば市が主張しているように、原則として歩道走行を可能にする「車両ではないが電動機を用いる移動機器」という新たなカテゴリ

を創設し、それに即した規定がつくられるべきだろう。こうした根本的な改正がなされなければ、いつまでも、ゆるやかな規制緩和に苦慮することになるだろうし、管轄する官庁には理解を求めたい。

また、Segway などの実証実験が先行しているが今後、実証実験への参加が見込まれる搭乗型移動ロボットの多くは、高齢者をはじめ交通弱者をターゲットユーザーにしている。そして、これらは道路交通法における「歩行補助用具」にカテゴライズされる方が馴染む。ただ、歩行補助用具に含まれる電動車椅子や電動カートは歩道走行を基本としながらも、あたかも自動車のように使用するユーザーが散見されるなど利用方法はまちまちであり、それに伴う事故が多い。交通弱者を対象とした搭乗型移動ロボットの将来的な利用を見越し、歩行補助用具の解釈ならびに法整備にかかる課題解決にも着手しておくことも求められる。

こうした法規制にかかる課題以外では、各地における実証実験の実施方法にも工夫が求められる。1 つは、実施規定が不十分であること。実証実験は、本節の冒頭で述べた事業化の検証もあれば、それに至るまでのユーザーを交えたコンセプト検証や機能検証（安全機能など）もある。特に初期のコンセプト検証段階のシステムは、安全性確保のための機能（保護方策）を実装していないことが多く、実証実験を実施する場合は、リスク低減のために複数名の保安要員を配置したり、イネーブルスイッチにより即座に非常停止をさせたりするといった対応が求められる。

つまりは、事業化に向けた段階に応じて実証実験の目的があり、それに伴いシステムとしての完成度（リスクレベル）が異なるがゆえ、それに応じて（安全に実施するための）実証実験のレギュレーションが規定されるべきだが、現状では整備されているとは言い難い。

例えば、大阪電気通信大学では搭乗者の漕ぐ力でも移動できるペダル付き倒立振子型パーソナルモビリティの研究開発を進めており、そのコンセプト検証を実施する予定でいた（図 4.2.1-2）。走行状況に応じて、立乗りによる電動モードと脚漕ぎモード、脚漕ぎアシストモードの 3 つの走行モードを任意に選択できるなど、既存のパーソナルモビリティにはない特徴を備える。

しかし、研究レベルのシステムであるため、Segway のような安全機能(*2)を実装しておらず、安全性確保に問題があるとの判断から実施に至らなかった（開発者のコメントによる）。実証実験の実施規定が画一的である現状では、結果的に初期のコンセプト検証の段階にあるシステムを排除し、新たなロボットの創出を妨げてしまうことになりかねないわけで、事業化の段階に応じたレギュレーションを設け、様々なロボットを検証できるように改めるべきである。このような段階のシステムを対象とした実証実験については、愛知万博での「次世代ロボット実用化プロジェクト」における安全ガイドラインならびに審査体制を参考すればよいだろう。

＊2：例えば、Segway ではコントローラボードとモータ、バッテリー、慣性センサ、LeanSteer（ハンドルバー）センサが冗長化（多重化）されており、2 枚のメインボードに実装したメイン CPU により双方向で監視を行っている。また、慣性センサについては計 5 つのジャイロセンサに加え、2 つの傾斜センサを搭載しており、ジャイロセンサは検出方法が異なるものの組み合わせによる二重系としている。機能安全における安全度水準「SIL3」に相当するといわれている。そのほか IEC 60204-1:2005 の制御停止にもとづくセーフティシャットダウンも実装している。

■図 4.2.1-2　人力と電動力の組み合わせによりバッテリーにかかる負荷を軽減できるうえ、低出力モータを採用できるのが特徴。国内ではモータ出力が 1kW 程度の乗り物は自動 2 輪車に定義されるが、片側 150W の DC モータで駆動するため歩道走行もできる。

もう 1 つは、事業化検証におけるストーリーが未熟であること。一般に実証実験は、新製品や新技術などを実際の場面で使用し、実用化に向けての問題点を検証することと解釈されている。技術検証ばかりではなく、仮説として提示したサービスシステムや社会システムの仮説検証も含まれ、特に事業化検証では後者が重視される。過去に、様々なロボットの実証実験が各地で取り組まれたが、アンケート調査を通じた、ロボット単体での受け入れ度合いを中心とした感応度分析にとどまり、事業化を想定した検証に至っていない。

本来、サービスロボットに期待されているのは、それによるサービス提供であり、さらには、サービス提供による社会的課題の解決である。したがって、それを活用したサービスシステム（ビジネスモデル）、さらには社会システム（社会サービス）を仮説として提示し、その有効性が検証されなければならないし、これを伴ってこそ、本節の冒頭で述べたような普及を後押ししてくれる人たちの力を得ることができる。

パーソナルモビリティに限らず、介護ロボット（ロボット介護機器）など実用間近を期待させるシステムが多く見られるいまこそ、このような仮説検証を重視した取り組みへと改められるべきである。

4.3　先進ロボットに係るロボット産業関連施策

4.3.1　第1回審査・運営委員会における配布資料「ロボット産業関連施策」（添付）
（経済産業省　製造産業局　産業機械課）　※一部最新データに差し替え

ロボットの利活用が期待される分野

➢少子高齢化による労働力人口の減少・作業負荷の増大への対応や製品・サービスの質や生産性のさらなる向上の必要性から、**次世代のロボット技術によるQOL・生産性の向上**の期待は高い。但し、普及拡大には、利便性と安全性の向上、低コスト化が課題。

ロボットの利活用

○生活・福祉分野（B2B／B2C）
ライフ・イノベーションの先進技術として期待。
介護労働者等の負担軽減、要介護者の自立支援・移動支援。

◆2005年→2025年にかけて
・高齢者人口　約1,070万人増加
（平成21年版高齢社会白書（2009年7月））
◆介護現場の約7割の方が腰痛
（厚労省福祉用具利用研究会調査（2008年3月））

○公共・防災分野（B2G／B2B）
防災・減災対策の先進技術として期待。メンテナンス分野にもニーズ。3K作業支援。

◆2006年→2026年にかけて
・建設後50年を経過する橋　57,400橋増加
（国交省道路分科会基本政策部会資料（2008年12月））
◆2004年→2009年にかけて
・高圧ガス事故件数　319件増加（主な原因は劣化腐食）
（高圧ガス保安協会高圧ガス関係事故集計（2010年3月））

○製造業分野（B2B）
柔軟な対応が可能な次世代プロセス・イノベーションのコア技術として期待。
国内にものづくり産業を維持する鍵。

◆2005年→2025年にかけて
・生産年齢人口　約1,310万人減少
（平成21年版高齢社会白書（2009年7月））
◆生産拠点の海外移転理由の7割が海外の製造コスト安さ
（2008年版ものづくり白書（2008年6月））

生活支援ロボットの安全認証

➢ 生活支援ロボットは人との接触度が高いために安全性が求められるが、安全基準が未整備であり、利用者の導入のハードルが高く、企業の製品開発リスクも高かった。
➢ 平成25年度中に生活支援ロボットの安全に関する国際標準が発効され、国際標準に準拠した安全認証が取得できる体制整備が完了する見込み。

平成25年
ISO13482発効

平成26年4月
ISO13482に基づく認証開始

ISO13482(生活支援ロボットの安全性に関する国際規格)

参照規格提供

参照規格提供

民間認証機関
（一般財団法人日本品質保証機構）

安全検証試験機関
（生活支援ロボット安全検証センター）

参照規格提供

認証依頼

品質管理体制および製品の審査、認証書の発行

試験依頼

試験結果

ロボット製造者

生活支援ロボット　安全認証の途中成果

- 2013年2月、サイバーダインのロボットスーツHAL福祉用が国際標準ISO13482DISに準拠した安全認証を世界で初めて取得。
- 生活支援ロボット安全検証センターと(一財)日本品質保証機構(JQA)に、国際標準に基づく生活支援ロボットの安全検証試験及び安全認証のノウハウと実績があることが世界に示された。

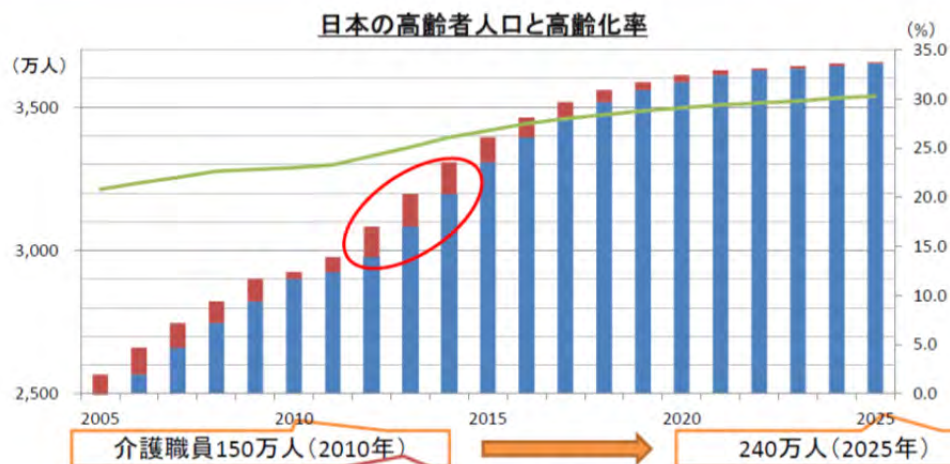
サービスロボット安全認証マーク(JQA)

生活支援ロボット安全検証センター

ロボットスーツHAL福祉用(サイバーダイン)

ロボット介護機器の導入加速に向けて

介護現場の課題

(1)2010年から2025年までの15年間で、65歳以上の 高齢者は約709万人増加。社会全体の高齢化率(総人口に占める高齢者の割合)が23%から30%に大幅上昇。
(2)団塊の世代が一挙に高齢者になり、2012～2014年には毎年100万人以上高齢者が増加。
(3) 介護職員の数も2010年の150万人から、2025年には240万人が必要。
(4)7割が腰痛を抱えるという現場の負担軽減が必要。

ロボット介護機器開発・導入促進事業

平成２６年度概算要求額　３０．０億円（新規）
【うち優先課題推進枠３０．０億円】

製造産業局　産業機械課
03-3501-1691

事業の内容

事業の概要・目的

○高齢者の自立支援、介護実施者の負担軽減に資するロボット介護機器の開発・導入を促進します。

○介護現場等のニーズを踏まえ、厚生労働省と連携して「ロボット技術の介護利用における重点分野」を特定し、その分野のロボット介護機器を開発する企業等に対し補助を行うとともに、介護現場への導入に必要な基準作成等の環境整備を行います。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

事業イメージ

Ⅰ．重点分野のロボット介護機器の開発補助

Ⅱ．介護現場への導入に必要な環境整備

○安全・性能・倫理の基準を作成し、効果の高いロボット介護機器を評価・選抜し、介護現場での実証試験実施や導入を促進する。

○高齢化の進展で要介護者が急速に増大（2010年500万人⇒2025年760万人）する中、①要介護者の自立促進、②介護従事者(2010年200万人⇒2025年400万人)の負担軽減に大きく貢献するロボット介護機器の開発を支援し、国内外へロボット介護機器を展開する。

コンセプト

①現場のニーズを踏まえて重点分野を特定。
（ニーズ指向）

②ステージゲート方式で使い易さ向上とコスト低減を加速。
（安価に）

③現場に導入するための公的支援・制度面の手当て。
（大量化）

ロボット介護機器の競争型研究開発

ロボット介護機器開発パートナーシップ

平成25年1月より、開発意欲のある企業と行政の情報交換の場を開催。
平成25年8月時点　参加事業者数（コンソーシアム含む）

装着	非装着	移動	排泄	見守り	合計
16	12	25	10	50	113

事業広報サイトの設立

- 開発中のロボット介護機器（47事業者）の紹介
- 最新版の安全・性能・倫理の基準の公開

http://robotcare.jp/

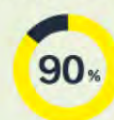
開発中のロボット介護機器の例

株式会社スマートサポート　北海道札幌市

研究開発計画名：
機能拡張可能な簡易筋力補助スーツ「スマートスーツEX」の開発

開発分野：
移乗介助（装着型）

ロボット概要：
スマートスーツEXは、移乗介助における介護者の腰部負担の軽減を目的として開発を進めた軽労化スーツである。移乗介助の動作解析結果に基づいた設計がなされており、構造も非常にシンプルで、簡単に着脱することができる。

人の手による作業での身体にかかる疲労と負担を軽減する軽労化。スーツです。

以上の方が、腰部の疲労軽減を実感。

富士機械製造株式会社　愛知県小牧市

研究開発計画名：
移乗介助用サポートロボットの開発

開発分野：
移乗介助（非装着型）

ロボット概要：
要介護者の胸部等を保持して抱え上げ動作を行い、移乗を介助するロボット。保持部を多軸アームの先端に設け、人の自然な動作軌跡を再現しながら抱え上げ動作を行う。

開発中のロボット介護機器の例

マッスル株式会社　大阪府大阪市
研究開発計画名：
非装着型移乗介護支援ロボヘルパーSASUKE開発事業
開発分野：
移乗介助（非装着型）
ロボット概要：
独自のセンサーおよびロボット技術により、使う人の感性に応じてパワーアシストしてくれる。構造を簡素化することにより軽量かつ安価に製造できる。

TOTO株式会社　福岡県北九州市
研究開発計画名：
居室設置型移動式水洗便器の開発
開発分野：
排泄支援

NKワークス株式会社　和歌山県和歌山市
研究開発計画名：
3次元電子マットによる見守りシステム
開発分野：
認知症の方の見守り
ロボット概要：
3次元の電子マットを用いて画像処理するため、ベット周辺の何処にでも設置することができます。設置時のカメラアングル位置合わせは、ガイダンス（イラスト）にて容易に設置することができます。

開発中のロボット介護機器の例

ピップ株式会社 大阪府大阪市
研究開発計画名：
認知症の方の見守りエージェント型ネットワークロボット研究開発プロジェクト
開発分野：
認知症の方の見守り
ロボット概要：
見守りで活用できるエージェント型ロボット「見守りかぼちゃん」の開発
（無線ユニット、センサ、及びワイヤレス給電技術の機能追加）

東海ゴム工業株式会社　愛知県小牧市
研究開発計画名：
スマートラバーセンサとカメラを併用した見守りプラットフォームの構築
開発分野：
認知症の方の見守り
ロボット概要：
スマートラバーセンサをセンサシートとしてベッドに敷く事によって、認知症をはじめとする要介護者の姿勢・体動・呼吸状態を検知し、正確かつ早期に離床または起床を検知して通報する。

開発中のロボット介護機器の例

キング通信工業株式会社　東京都世田谷区
研究開発計画名:
赤外線3Dレーザーセンサー方式を採用したプラットフォーム開発（見守り用）
開発分野:
認知症の方の見守り
ロボット概要:
RGB画像などの映像ではなく、シルエット画像を利用することで、見守る方へのプライバシーを考慮している。Wi-Fiでの接続にて、PC・スマートフォン・タブレット端末など、さまざまな機器での確認が可能であるため、「専用の携帯端末を準備しないで運用が可能であり、イニシャルコストが軽減できる」および「施設内ローカルのWi-Fiを利用することでランニングコストがかからない」がセールスポイントである。

東リ株式会社　兵庫県伊丹市
研究開発計画名:
コードレス無線見守りマットの開発
開発分野:
認知症の方の見守り

ロボット概要:
要介護者がﾏｯﾄを踏んだ時に生じる振動ｴﾈﾙｷﾞｰを電気に変え、これを電源として活用し、踏んだ情報を送信できる。電源不要、配線不要が主な特徴。

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト

平成26年度概算要求額　４１．０億円（新規）
【うち優先課題推進枠４１．０億円】

産業技術環境局　研究開発課
03-3501-9221
製造産業局　産業機械課
03-3501-1691
商務情報政策局　情報処理振興課
03-3501-2646

事業の内容

事業の概要・目的

○橋・トンネル等社会インフラ、石油プラント等産業インフラは、今後、建設後50年を経過するものが、加速度的に増加しますが、それらの老朽化に対する十分な資金と高度な維持管理の専門知識を有する人材不足が大きな課題となっています。

○そのため、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図る必要がありますが、それには、的確にインフラの状態を把握できるセンサ、点検・補修を行うロボット、補修・改修時期を推測するデータ解析技術の開発を進めることが必要です。

○また、センサを活用したモニタリングシステムは、インフラ分野に加え、医療や農業などの分野が抱える課題解決にも有効です。これらの分野への応用も可能な複合センサのための基盤技術開発等を行います。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

事業イメージ

①インフラの状態モニタリング技術開発
（例）複合センサ基盤技術、検出部の高機能化技術、非破壊検査技術、画像を活用したイメージング技術
②インフラ点検・補修用ロボット技術開発
（例）人が到達困難な場所へ点検・補修機器を搭載して移動する小型移動ロボット、防爆・防水・防塵化ロボット
③インフラの補修改修時期を推測するデータ解析技術開発
（例）高信頼クラウド基盤技術、リアルタイムデータ解析技術、情報ネットワークの安全性検証基盤技術

21

米国国防総省(DOD)とのTOR締結

2013年7月31日、経済産業省製造産業局宮川局長と、シェーファー米国防総省(DOD)研究・エンジニアリング(R&E)担当副次官補との間で、人道支援と災害復旧に関するロボットの日米共同研究実施に関する合意書(TOR)を署名。

合意書概要

- ✓ 2011年3月11日の東日本大震災において、「トモダチ作戦」をはじめとする日米の緊密な協力により、人道支援と災害復旧への取り組みにおける両国の専門技術者による共同連携の必要性を示した。
- ✓ 経済産業省と米国防総省(以下、両者という)は、人道支援と災害復旧におけるロボット技術の共同体制の確立のため、合意書(TOR)を作成。これにより、科学技術研究活動を通じて、日米の共同活動と、人道支援と災害復旧におけるロボットの応用の可能性により一層貢献していく。
- ✓ 必要に応じ、両者は特定分野の人道的ロボットの研究開発のワーキンググループを設立し、二国間シンポジウムを開催し、それぞれの関係する大学や研究機関の相互訪問を実施する。
- ✓ また、国防高等研究計画局(DARPA)災害対応ロボティクスチャレンジに日本が参画することを通じ、本合意に基づく目的のうちの最初の活動の一例になると期待される。

DARPAロボティクスチャレンジについて

概要

- ➤ 米国防総省下の国防高等研究計画局(DARPA)の主催する災害対応ロボットのコンテスト(2012年～2014年)。
- ➤ 達成すべき課題を設定し、クリアした者に賞金を与える。

課題

① 乗り物を運転し、所定の場所まで移動する。
② 乗り物から降り、がれきのある場所を移動する。
③ 通路を塞いでいるがれき(5kg以下)をよける。
④ ドアを押して開け、建物内部に入る。
⑤ はしごを上り、その上の通路を渡る。
⑥ 道具を使ってコンクリートのパネルを破壊する。
⑦ 煙が漏れているパイプを特定し、バルブを閉めて止める。
⑧ 冷却ポンプ等(人が片手でもてる程度のもの)を交換する。

課題イメージ

トラックA当初参加者一覧

CMU-NREC(米)
カーネギーメロン大学の国立ロボット研究センター。

NASA-JPL(米)
NASAジェット推進研究所。チャレンジには、ヒューマノイドタイプを採用せず。

SHAFT(日)
チャレンジ参加のため、東大のポスドクが所属研究室をやめて立ち上げたベンチャー。

レイセオン(米)
軍需企業だが、2007年ロボットメーカーを買収し、研究を継承。

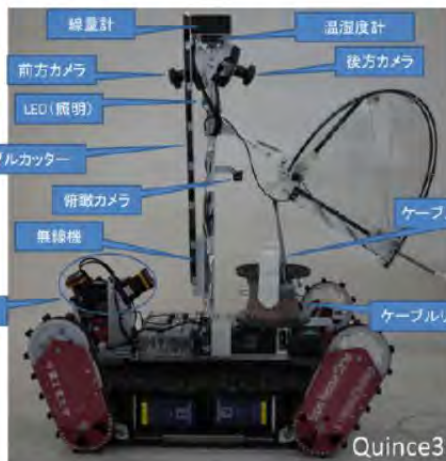
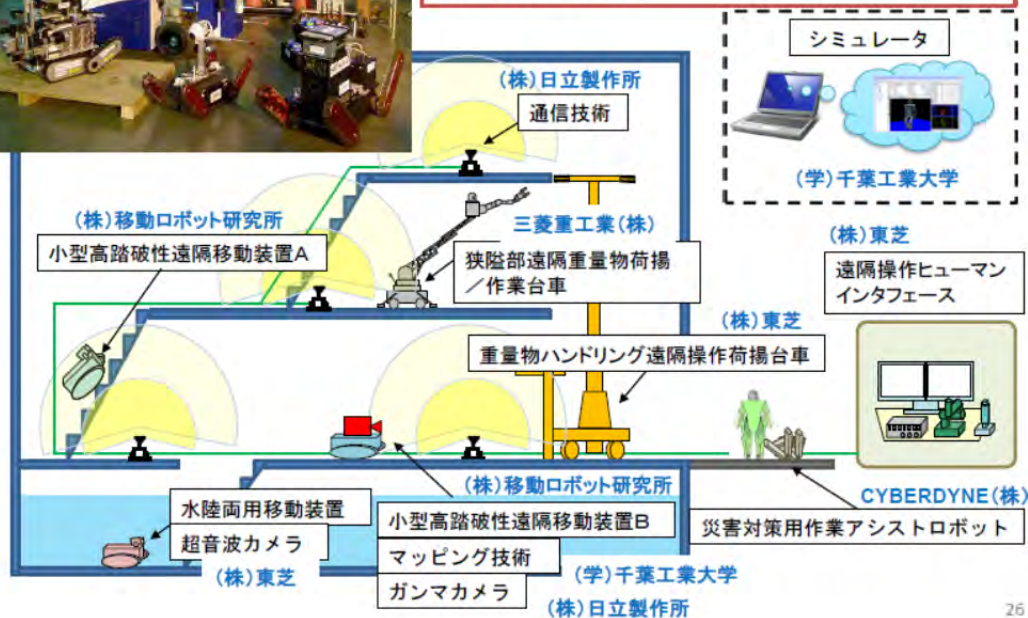
バージニア工科大学(米)
コンソーシアムにはペンシルバニア大学や、韓国ロボットメーカー等が参加。

NASA-JSC(米)
NASAジョンソン宇宙センター。

ドレクセル大学(米)
韓国研究機関が開発したプラットフォームHUBOを使用。コンソーシアムには韓国研究機関も参加。

23

DARPAロボティクスチャレンジについて
※2012年末時点計画
フェーズ1
フェーズ2
スケジュール
2012年 11,12月
2013年 1月～6月
2013年 7月～12月
2014年 1月～12月
トラックA ロボット全体開発
7チーム 各180万ドル
5チーム以下 各120万ドル以下
トラックB ソフトのみ開発
11チーム 各37.5万ドル以下
DARPAが手配する ATLASを用いた開発 6チーム以下 各75万ドル以下
8チーム以下 各100万ドル以下
トラックC ソフトのみ開発
自主開発
トラックD ロボット全体開発
自主開発
クリティカルデザインレビュー(トラックA)
開発状況の総合評価。
バーチャルロボティクスチャレンジ(トラックB, C)
ATLASを念頭に準備されたリアルタイムオンラインシミュレーション環境(the Open Source Robotics Fundation)にてタスククリアを目指す。
ATLAS(米ボストンダイナミクス)
DARPAロボティクスチャレンジトライアル
実環境での実演。
DARPAロボティクスチャレンジファイナル
実環境での最終実演。クリアした中で最上位に200万ドルの賞金。
現在の状況
● クリティカルデザインレビューが6月にかけて実施され、7チーム中6チームが通過。日本のSCHAFTも通過。
● バーチャルロボティクスチャレンジが6月17～21日に開催され、8カ国26チームが参加し、8チームが通過。日本のTeam Kは7位だったが、9位の米ケース・ウェスタン・リザーブ大学と合体し、香港大学からATLASを借り受けることで、通過扱いに。結果として7チームがATLASと研究資金を得た。
● 2013年末のトライアルは、12月20,21日にホームステッドマイアミスピードウェイで実施。
24

災害対応ロボット クインスの成果
経済産業省では、「戦略的先端ロボット要素開発プロジェクト(平成18～22年度予算)」の特殊環境用ロボット分野として、総額5.6億円の予算措置により、クインスの開発を支援。
また、「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト(平成23年度補正予算)」において、総額1.1億円の予算措置により、クインスの後継機である「Sakura(桜)」「Tsubaki(椿)」の開発を支援。
○クインスの性能
瓦礫上走行、急傾斜の階段の乗降、周辺機器を取り付けることで、ドアの開閉や、閉鎖空間の自動3Dマッピング等が可能。
○クインスの主な活動履歴
2011年
～5月 ニーズに合わせた改造
東京電力関係者による操縦訓練
6月 1台目を東京電力へ無償貸与
7月 3号機建屋1・2階の放射線量等を初めて測定
10月 2号機建屋1～5階の放射線量等を初めて測定
帰還中通信ケーブルのトラブルで3階にて停止
12月 使用ニーズに合わせた改造
2,3台目を東京電力に無償貸与
2012年
2月 2号機建屋5階オペレーティングフロア調査
3月 2号機建屋TIP室調査
6月 2号機建屋3～5階の放射線量測定、仕様済み燃料プール撮影
7月 1号機建屋1階TIP室内及び南エリア調査
11月 3号機建屋原子炉格納容器(PCV)ガス管理システムダクトの状況確認
2013年
4月 2号機建屋1階MSIV室調査
東京電力ホームページより作成
線量計
温湿度計
前方カメラ
後方カメラ
LED(照明)
ケーブルカッター
俯瞰カメラ
ケーブル巻取り機
無線機
ケーブルリール
Quince3
千葉工大 fuRoホームページより
25

災害対応無人化システム研究開発プロジェクトの成果
共通の通信技術、ヒューマンインタフェースにより、各ロボットが連携して作業を行う。
開発成果は、福島第一原子力発電所廃炉作業に関与する企業・大学に提供され、投入に向けた開発・調整が行われる予定。
シミュレータ
(学)千葉工業大学
(株)日立製作所
通信技術
(株)移動ロボット研究所
小型高踏破性遠隔移動装置A
三菱重工業(株)
狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車
(株)東芝
遠隔操作ヒューマンインタフェース
(株)東芝
重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車
(株)移動ロボット研究所
CYBERDYNE(株)
水陸両用移動装置
超音波カメラ
(株)東芝
小型高踏破性遠隔移動装置B
マッピング技術
ガンマカメラ
(学)千葉工業大学
(株)日立製作所
災害対策用作業アシストロボット
26

4.4　先進ロボット普及に向けた安全と標準化について

4.4.1　第２回審査・運営委員会で出された意見

・今後はモジュール群をインテグレーションし、ユーザーを主体としたロボットをつくることが重要であり、それを担っていくであろうベンチャーやサービス業にとっては、そういった規格が読み取りにくく、誰に相談すれば良いのかわからないといったことがよくある。

・リスクに関する考え方は文化に依存している。日本というのは割とリスクを受け入れない文化で、絶対に危険でないということが保証されていないと、中々導入をしない国であるが、リスクに関して日本は非常に厳しくなりがちではないか。

・機能安全の面として、自動車では ISO26262、ロボット業界では ISO13482 を採用。しかし、両者はどちらも ISO61508 ベースで策定されている。これから自律型が進むに従い両者は近づいてくるだろうが、自動車かロボットか、グレーゾーンの存在を許したまま、これからも双方の基準は体系化されていくだろう。

・すべての機械についてリスクはゼロには出来ず、危険を孕んでいる。やはりしっかりとコンセンサスをとり、ユーザーがそれを受け入れた上で使用することが重要だ。

・国際消費者団体が「ユーザーの権利と義務」を提唱している。ユーザーも任せきりではいけない。経産省もユーザー向けの、製品安全のハンドブックを出している。これからもっとユーザーに対して、リスクの説明していかなければならない。

・次のステップとしては、例えば介護作業をする方なら入ってこられるのではないか。アメリカでもこれまでサービスロボットではこうした取り組みはないので、日本でやってみてはどうかという意見がある。

・介護ロボットというのは、これまで介護する人にとって都合のよいように開発されてきた。しかし最終のユーザーである被介護者はモノが言えないことが多い。メーカー側は介護者ニーズに加え、この被介護者の要求も叶える責任があるのではないか。

・設計開発はするけれどもその後のリスク回避の段階になってつまずき、普及できないというケースが多々ある。企業努力だけではどうにもならない面もあるので、そういった面を支援することで、日本の産業を展開していく、というシナリオもあるのではないだろうか。

4.4.2　第２回審査・運営委員会での講演資料（添付）

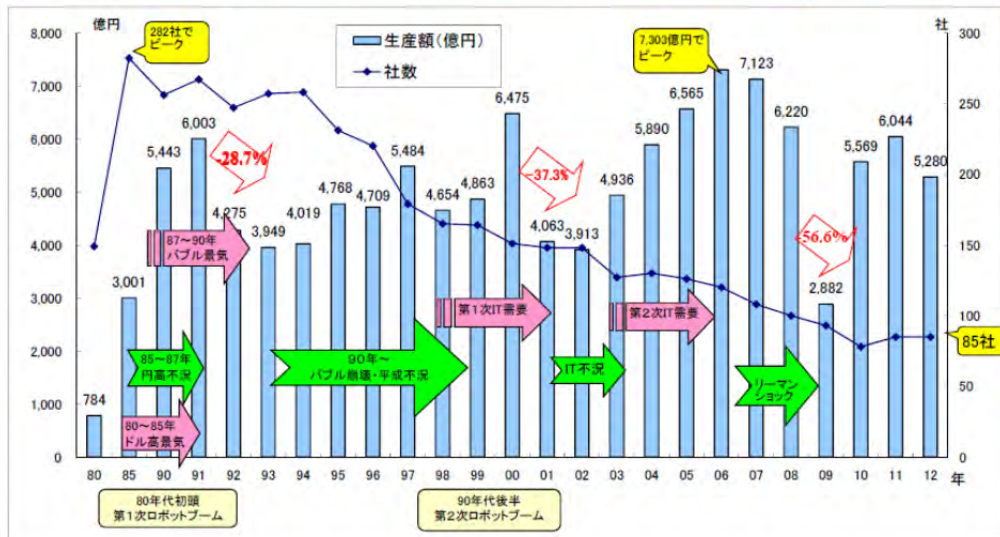
「ロボット安全標準化　現状と課題」名古屋大学大学院　山田陽滋氏

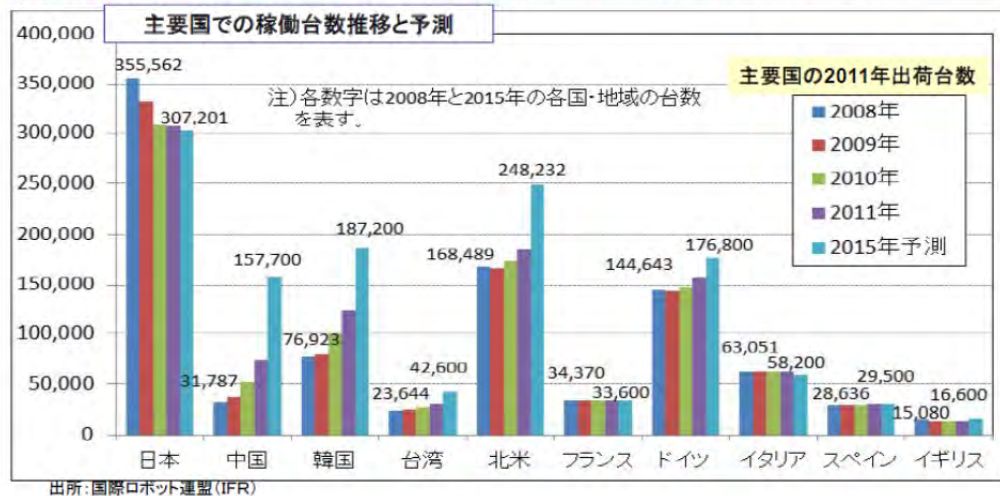
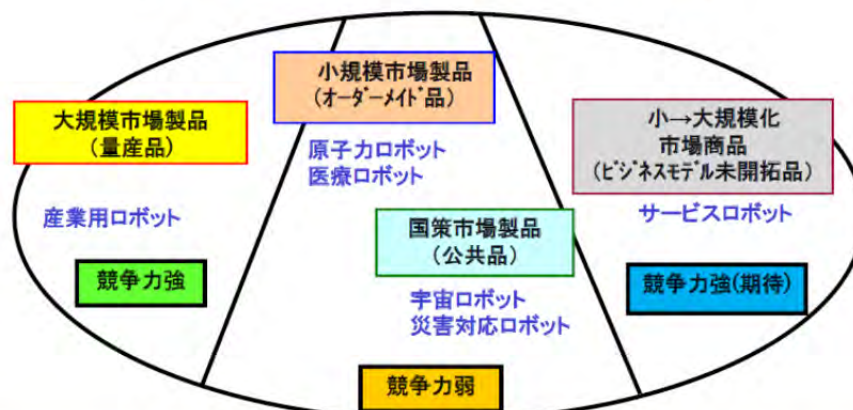
2013.11.8
ロボット大賞委員会

ロボット安全標準化
現状と課題

名古屋大学大学院　工学研究科
機械理工学専攻　山田 陽滋

1．はじめに～
ロボットの産業化動向

謝辞：資料作成にあたり、統計データ提供等 (社)日本ロボット工業会
矢内　章　氏にご支援を頂きました。ここに深謝申し上げます。

・国際ロボット連盟(IFR:International Federation of Robotics)では、毎年産業用ロボットの世界統計を発表しているが、日本の設置稼働台数は高いシェアがあるものの、その割合は年々低下。
・その要因として、日本の製造業が海外にシフト、国内の生産方式の変更(特に組立)で国内市場が縮小する一方、海外でのロボット需要の拡大などが挙げられる。
・東アジア、特に韓国、中国での伸びが顕著(特に、2010年では、韓国が初めて日本を上回る)

出所:国際ロボット連盟(IFR)

ロボット分野の国際競争力 (市場規模・製品タイプ別)

ここで国際競争力とは、応用技術(A)では、①他国に真似をされるようなオリジナルな製品を開発する力、②他国に製品を輸出する力、③国内で他国を超える製品市場を持つ力、④市場をプロモートする力、などを総合的に評価したもの。要素技術(B)では、各国研究機関のアクティビティや、国際会議、論文誌等での研究発表のアクティビティで、各国のシーズ開拓力を総合的に比較評価。

サービスロボット市場創出の課題

ソフト面

- ◆**適用分野の創造・開拓** ・・・ サービスアプリケーションの開拓・支援
- ◆**安全性の確保** ・・・ **安全規格や安全性確保の手法の整備**
- ◆**インフラの整備** ・・・ ロボットが活躍できる環境の整備(**規格・法律**、環境情報構造化等)
- ◆**中小・ベンチャー支援** ・・・ 開発・事業資金の支援、マーケッティングや保守体制確立のための支援
- ◆**人材の育成** ・・・ ロボットは総合システム工学。ハードとソフトを縦横に応用するシステムインテグレーション技術の教育

ハード(システム)面

- ◆**コスト低減** ・・・ 機能と価格のパフォーマンス → モジュール化・*集積化*(移動、センサ、制御等共通要素基盤のモジュール化、RTプラットフォーム化)
- ◆**センサ技術** ・・・ マルチモーダルな認識と*ヒューマン・インターフェイス*、ビジョンによる障害物検知等の高度化
- ◆**高性能電池** ・・・ コンパクト・長寿命・低価格なバッテリー
- ◆**知的制御** ・・・ 高度な作業、移動、コミュニケーションなどを可能にする制御技術、教示技術、知能化の実現

2. ロボット分野の安全規格

2-1 国際安全規格の位置づけと製造環境におけるロボットの安全要求事項

国際安全規格の構造的分類

C
個別機械安全規格：
特定の機械に対し詳細な安全要求事項を規定する規格

パーソナルケアロボット (ISO/DIS 13482)
製造環境のロボット規格 (ISO 10218)
産業車両 (ISO 3691-4)
車いす (ISO 7176)
下肢義肢装具 (ISO 22675)
自動車機能安全 (ISO 26262)
など

鉄道通信規格 (IEC 62278)
おもちゃ (EN 71-1)
遊技施設 (EN 13814)
知的アシスト装置 (ANSI T15.1)
家電屋内掃除機規格 (IEC/TC59F で策定中)

B
グループ安全規格：
広範囲の機械類で利用可能な安全装置を扱う規格

制御システム安全関連 (ISO 13849-1)
安全距離規格 (ISO 13855)
圧力検知保護装置規格 (ISO 13856)
上肢下肢到達距離規格 (ISO 13857)
統合生産システム規格 (ISO 11161)
予期せぬ起動防止規格 (ISO 14118)
インタロック規格 (ISO 14119)

電気設備安全規格 (IEC 60204-1)
家電安全規格 (IEC 60335-1)
緊急停止規格 (IEC 13850)
電気センサ存在検知 (IEC 61496)
センサ応用規格 (IEC 62046)
機能安全規格 (IEC 61508,62061)
EMC規格 (IEC 61000-6-2)
など

A
基本安全規格：
全ての機械類で共通に利用可能な基本概念,設計原則を扱う規格

機械類の安全性-基本概念,設計原則規格 (ISO 12100)
リスクアセスメント規格 (ISO/TR 14121-2)

図 サービスロボットに関連する主な国際安全規格

産業環境におけるロボットの安全要求事項: ISO-10218-1 およびわが国における法規制との関係

5.10 Collaborative operation requirements

5.10.1 General

Robots designed for collaborative operation shall provide a visual indication when the robot is in collaborative operation and comply with one or more of the requirements in 5.10.2 to 5.10.6.

ISO 10218-1:2006(E)より抜粋

協調運転要求事項

定義された作業領域内で人間との協調運転のために設計されたロボットは、5.10.2の機能を持たねばならない。・・

協調運転モード
安全に減速された速度(250mm/sを超えない)
原則、ISO 13849-1のカテゴリー3に従う.
アシストモード
ISO 13849-1のカテゴリー3に従 う.

労働安全衛生規則(産業用ロボット)

産業用ロボットにかかわる危険な労働として次の3種類.

- 教示等: 可動範囲内において行う教示作業
- 運転中: ロボットに接触することによる危険を防止
- 検査等: 可動範囲内において行う点検・修理・調整

安全衛生規則と国際安全規格(産業用ロボット)の対比例

- **5.10.5 Power and force limiting by inherent design**

The robot shall be designed to ensure either a maximum dynamic power of 80 W or a maximum static force of 150 N at the flange or TCP (determined by the risk assessment). The robot design shall ensure that these values cannot be exceeded.

NOTE 1 Use of this feature may be limited by exposure to additional hazards (e.g. pinch points, shearing hazards).

ISO 10218-1:2011(E)

ロボット制御は, リスクアセスメントによって決められた有効な動力と力が過度でないことを確認して設計されなければならない. 最大動力は80Wを超えてはならず, 最大力は150Nで制限されねばならない.

国際規格上は, 80Wも150Nも本質安全規範ではなくなった.

労働安全衛生規則(適用範囲)

次のものを(安全衛生規則の適用範囲から)除く

- 定格出力(駆動用原動機を二以上有するものにあっては, それぞれの定格出力のうち最大のもの)が80W以下の駆動用原動機を有する機械

2. ロボット分野の安全規格

2-2 ISO 13482「ロボットとロボティックな機器-安全要求事項-パーソナルケアロボット:非医療用途」～適用範囲と目次

PCロボットの分類

1. **Mobile servant robots:**
   自由に移動でき，意図されたタスクや例えば対象物のハンドリングを行うロボット．マニピュレータは付いても付かなかくても，この範疇に含まれる．

2. **People carrier robots:**
   自律誘導やマニュアルのガイドあるいは移動によって，人間を別の地点に運ぶ目的のロボット．

2. **Physical assistance robots:**
   人間の身体能力の補助や増強を行う，つまり，弱者高齢者の機能を補ったり，あるいは健常者の身体能力を増大させたりすることにより，彼らがタスクを行うことをアシストするロボット．

市場創出の方向性の高いものを重点化して分類
医療分野のパーソナルケアは考えない

スコープの内か外か?

欧州機械指令 06/42/ECに準拠して議論を進める.

Robocoaster, KUKA

PaPeRo, NEC
http://www.nec.co.jp/robot/childcare/index.html

BLEEX, UC Berkeley
http://www.popsci.com/scitech/article/2004-07/next-gen-military-man-wearable-machines

分類上,グレイな領域にもいろいろなロボットがある.

ロボットとロボティックな機器-安全要求事項-パーソナルケアロボット:非医療用途

目次

1. Scope

適用範囲

2. Normative references

参照規格

3. Terms and definitions

用語と定義

4. Risk assessment

リスクアセスメント

5. Safety requirements and/or protective measures

安全要求事項と保護方策

目次(つづき)

6. *Safety performance requirements*

安全性能に関する要求事項

7. Verification and validation

適合性検証と妥当性確認

8. Information for use

使用上の情報

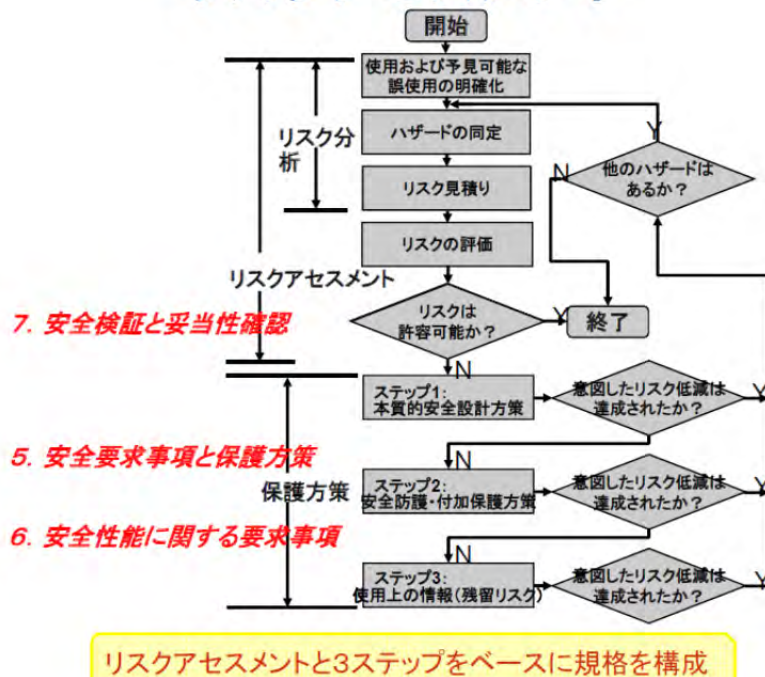
- Annex A : List of significant hazards for personal care robots

付録A:重要なハザード

- Annex B : Safety criteria for personal care robots

付録B:安全の規範

2. ロボット安全の概要

2-3 ISO 13482「ロボットとロボティックな機器-安全要求事項-パーソナルケアロボット:非医療用途」～リスクアセスメントと安全要求事項

5.節　安全要求事項と保護方策(1)

安全要求事項	細項目
バッテリーの充電	
エネルギーの蓄積と供給	高エネルギーへの接触，蓄積エネルギーの不用意な解放，パワーの供給・遮断時の不具合
ロボットの形状がもたらす傷害	
放出	騒音，振動，有害物質，極高低温
電磁ノイズ	
ストレス，姿勢や使用時のハザード	
不安定性	本体の静的な安定性，運転時物体搬送時，衝突・衝撃外乱時，搭降乗時の不安定性
耐久性	

5.節　安全要求事項と保護方策(2)

3ステップ法に沿った形式で要求事項を述べる.

【例】バッテリー充電に関するハザード(5.2節)

1) 本質的安全設計:
誤って接続部やプラグ通電部に触れない位置，あるいは触れられないような構造として設計，など.

2) 安全防護および付加保護方策:
充電システムは，PCロボットがこれに接続されたときだけ導通するように，また，フル充電時にこの状態を表示する，など

3) 使用上の注意:
バッテリー充電の使用方法を必ず含める

5.節　安全要求事項と保護方策(3)

PCロボットに共通するハザードを集成している.

【例】人間とロボットの一部の接触

1) 接触部の形(5.4節):
ISO 12100-2

2) 振動(5.5.2節):
ISO 2631(0.1Hz～80Hz)

3) 材料物性(5.5.3節):
ISO 14123-1(炎症)

4) 温度(5.5.4節):
ISO 13732-1～3(10～43℃)
など

2．ロボット安全の概要

2-4　ISO 13482「ロボットとロボティックな機器-安全要求事項-パーソナルケアロボット:非医療用途」～安全関連制御システムへの要求事項

6.節 安全性能に関する要求事項(1) 目次と概要

(1) ロボットの停止機能
停止カテゴリ2の積極的採用
(2) ソフトウェアによる動作範囲の制限
(3) 特異点回避
(4) 速度制限およびその安全関連系
(5) 安全関連の環境センシング
接触/非接触センシング，経路の状態検出か幾何学的な制限か，さらには環境にタグ等のマーカを付設するか
(6) 力制限およびその安全関連系
(7) 運転制御
運転状態の表示，ラベル付け，単一箇所からの運転，意図しない運転／資格を持たない者による運転に対する保護，運転モード
(8) コマンドデバイス
接続と切断，複数ロボットの運転，複数デバイスによる運転，無線運転
(9) 接続/切断，複数ロボットへのコマンド，複数コマンドデバイス，無線コマンドデバイス

6.節 安全性能に関する要求事項(2) 安全度水準

1)パーソナルケアロボットの安全関連系の制御はリスクアセスメントの結果に基づき，安全度水準を
- ISO 13849-1　のPL (performance level)
- IEC 62061　のSIL (safety integrity level)

のいずれかによって，定めなければならない．

2)他の，制御系の信頼性に関する指標を利用してもよい．その場合も，上記のPL／SILと同等のリスク低減レベルが達成できていなければならない．

制御システムの安全関連部設計

- 安全関連系とは

  以下の機能と性能をもつシステム．
  - 機能

    EUC(Equipment Under Control)を安全な状態に{移行する，保持する}ために必要な安全機能を実行し，かつ，
  - 性能

    それ自体で，あるいはプラス，他の安全関連系や外部リスク低減装置とともに，上記機能を発揮することに対して，必要な安全度水準をもつ．

制御装置と独立な
安全関連部の位置づけ

リスクグラフとPLrの例

SILならば，左図PLから換算

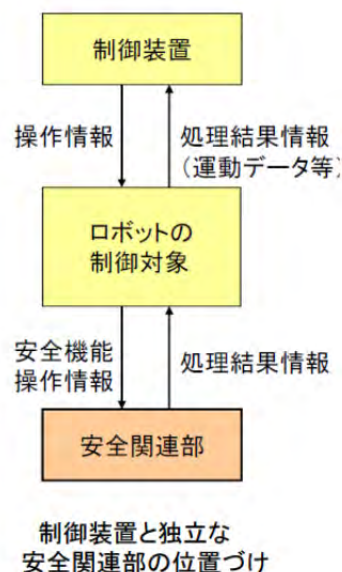
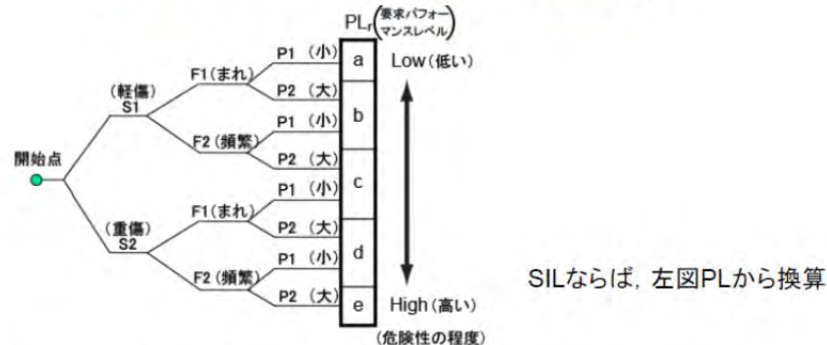



Table 4 — Performance levels for protective stop of personal care robots

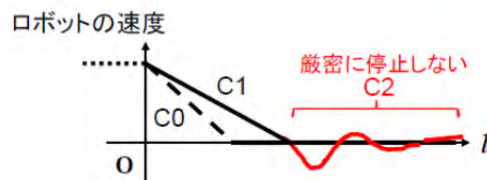
Type of robot: Safety functions of personal care robots:	Mobile servant robot		Physical assistant robot				Person carrier robot	
	Type 1.1	Type 1.2	Type 2.1	Type 2.2	Type 2.3	Type 2.4	Type 3.1	Type 3.2
Protective stop	b	d	b	d	b	c	c	e

個々のタイプのロボット(high/low-powered)に対して，PLrを規定
身体アシストロボットは，拘束型，非拘束型に分類

6.節 安全性能に関する要求事項(3) ロボットの停止機能

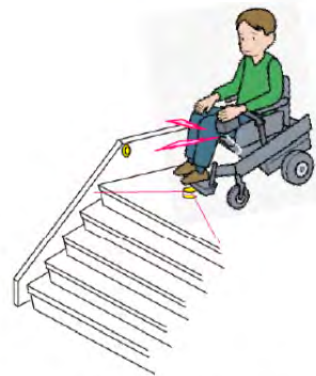
- 制御停止(controlled stop) ※注)CD2以降は，protective stop
- IEC 60204-1の停止カテゴリ2を許す.

緊急停止が新たな危険を生じる(2)

「2007年度サービスロボット安全性等標準化調査専門委員会安全性検討ワーキンググループ報告書」から抜粋

  - ロボットが停止した後も倒立状態を監視
  - さらに意図しない運動が生じるようであれば，緊急停止に移行するよう要求

6.節 安全性能に関する要求事項(4) 安全関連の環境センシング

- 基本的には静止障害物を対象とする.

  安全関連障害物
- 環境センシング
  - 運転走路状態や運転経路のセンシング
  - 環境のセンシングが困難な場合のために, タグ等による環境との交信を許す.

環境のセンシング／構造化

3. おわりに

講演のまとめと今後

まとめ

(1) ロボットの産業化動向

- 産業用ロボットが99%である.
- 国内外のロボットの動向；サービスロボットが鍵になる.

(2) 製造環境におけるロボットの安全規格

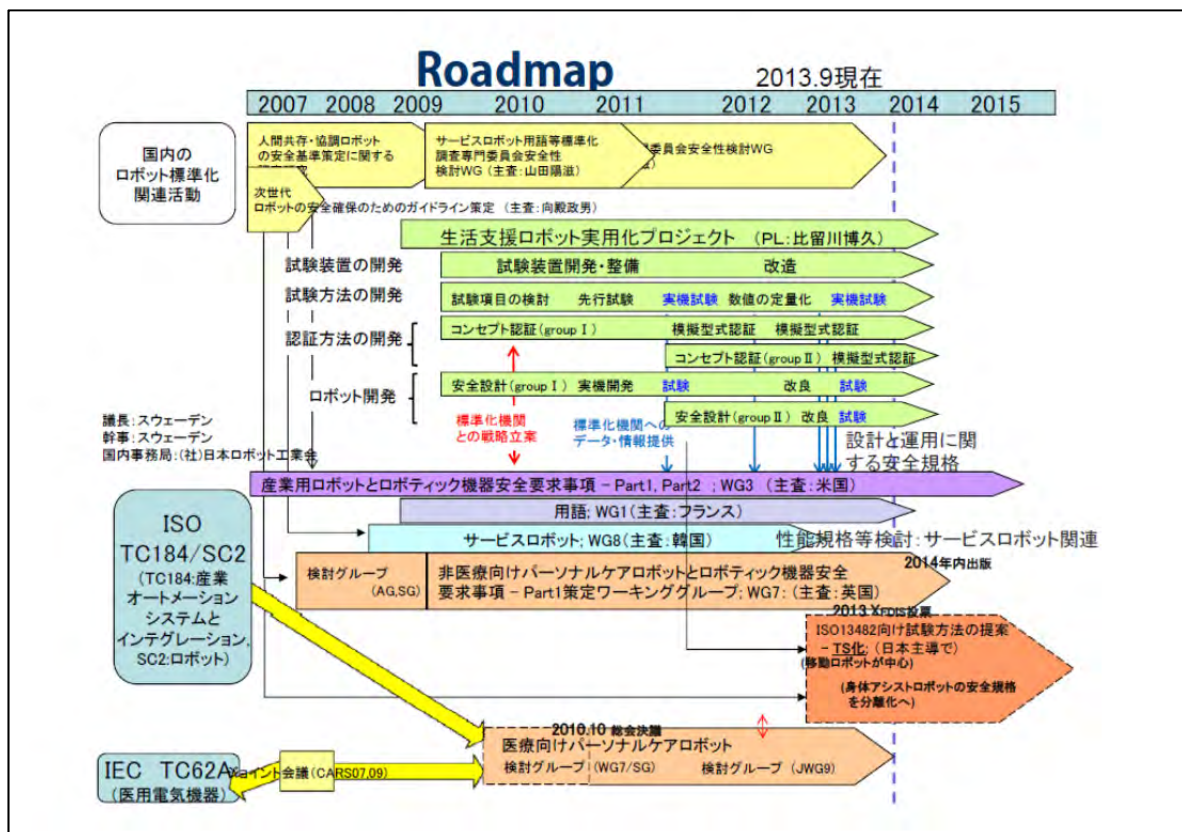
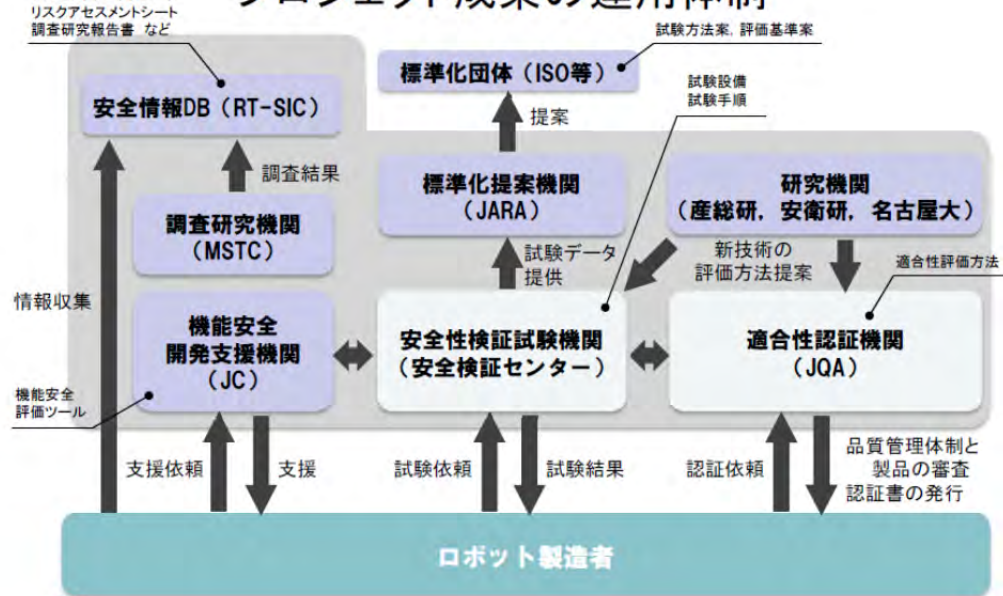
- 国際規格と国内安全衛生規則の差：ロボット通常運転中の人間との共存を許すか否か
- 本質的安全設計に資する国際安全規格上のパラメータがなくなった.

(3) パーソナルケアロボットの安全要求事項：ISO13482の概要

- 概要（目次）と適用範囲に関わる類似製品の理解の仕方を説明した.
- 同類の4．節リスクアセスメントでPCロボット固有の問題を抽出した.
- 接触安全の規範に言及した.
- 5．節で，PCロボット特有のハザードに基づいた安全要求事項について装着型ロボットを例に，説明を行った.
- 6．節で安全性能に関する要求事項を紹介し，移動ロボットの事例に基づいて停止機能，環境センシング機能に関する説明を行った.

課題

(1) 個別ロボット製品に対するより詳細な規定

(2) いよいよ医療福祉分野のロボット安全規格の規定へ　　(3) 認証体制の構築・確立

プロジェクト成果の運用体制
コンセプトチェックシート
リスクアセスメントシート
調査研究報告書 など
安全情報DB（RT-SIC）
試験方法案, 評価基準案
標準化団体（ISO等）
提案
試験設備
試験手順
調査結果
標準化提案機関
（JARA）
研究機関
（産総研, 安衛研, 名古屋大）
調査研究機関
（MSTC）
試験データ
提供
新技術の
評価方法提案
適合性評価方法
情報収集
機能安全
開発支援機関
（JC）
安全性検証試験機関
（安全検証センター）
適合性認証機関
（JQA）
機能安全
評価ツール
支援依頼
支援
試験依頼
試験結果
認証依頼
品質管理体制と
製品の審査
認証書の発行
ロボット製造者
31

4.4.3　第２回審査・運営委員会での講演資料（添付）

・「標準化によるサービスロボットの産業化推進～安全規格化と標準性能試験法～」

長岡技術科学大学　技術経営研究科　システム安全専攻　准教授　木村哲也

標準化によるサービスロボットの産業化推進
～安全規格化と標準性能試験法～

長岡技術科学大学　技術経営研究科
システム安全専攻　木村哲也

システム安全：安全規格・法規の上に立ち，システムの災害，リスク及び安全の解析プロセスを対象に，**安全技術とマネジメントスキルを統合**して応用すること

サービスロボットの産業化の課題

- 多用性の制御
  - 多用性：技術、環境、利用法、ステークホルダー
  - 多用性は安全性の本質（合理的予見可能な誤使用、リスク見積もり・評価）

  ⇒安全規格化：事前責任、三者構成
- 未成熟市場での市場化コスト負担
  - 潜在的ニーズの具体化・市場化の具体的戦略不明
  - 複数省庁による重複

  ⇒標準性能試験法＝ベネフィットの見える化：ビジネスモデル精緻化、開発効率化、緩やかな省庁間連携

2

ISO/IEC Guide 2(JIS-Z-8002)
標準化及び関連活動—一般的な用語

- **標準化**(standardization):実際の問題又は起こる可能性がある問題に関して、与えられた状況において最適な秩序を得ることを目的として、共通に、かつ、繰り返して使用するための**記述事項**を確立する活動。

注記1:この活動は、特に**規格**を作成し、発行し、実施する過程からなる。

注記2:**標準化**がもたらす重要な利益は、製品、プロセス及びサービスが意図した目的に適するように改善されること、貿易上の障害が取り払われること、及び技術協力が促進されることである。

(下線は木村が追加)

3

ISO/IEC Guide 2(JIS-Z-8002)
標準化及び関連活動—一般的な用語

- **規格**(standard):与えられた状況において最適な秩序を達成することを目的に,共通的に繰り返して使用するために,活動又はその結果に関する規則,指針又は特性を規定する文書であって,**合意**によって確立し,一般に認められている**団体**によって承認されているもの。

注記1 :規格は,科学,技術及び経験を集約した結果に基づき,社会の最適の利益を目指すことが望ましい。

- **合意**(consensus):本質的な問題について、重要な利害関係者の中に妥協できない反対意見がなく、かつ、すべての関係者の見解を考慮することに努める過程及び対立した議論を調和させることに努める過程を経たうえで全体的な一致。

注記:合意は、必ずしも全員の一致を必要としない。

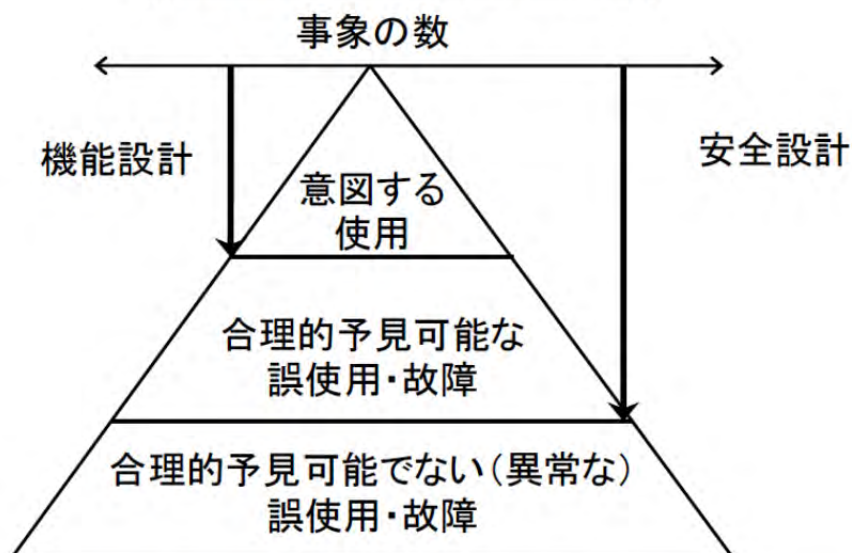
(下線は木村が追加)

4

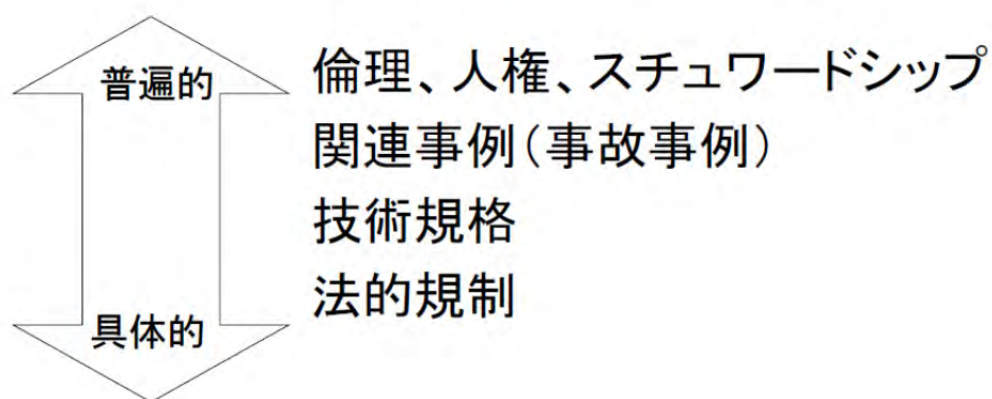
安全をなぜ考えるのか？

- 安全は基本的人権の一部（事故発生で身体の自由を奪う）
- 持続的ビジネスに必要（ボイラーコード、ドラッガー）
- 技術の高度化危険の直観的理解困難。
- 社会の複雑化で危険源と人との接触確率増大
- エントロピー増大の法則（秩序は無秩序へ）で何らかのエネルギー注入（努力）がなければ危険源と人は接触⇒事故がないことは安全の説明にならない（JIS B 9702）

5

設計者責任の範囲

--規格参照で考慮事象数減少可だが設計者責任は無くならない

6

安全の判断基準

サービスロボットの安全設計＝技術の多様性×安全設計の多様性
組み合わせ爆発？⇒規格利用必要

ロボット実用化での特徴

		サービスロボット		
	産業用	レスキュー	空港用	家庭用
メリット(≒出力)	大	大	小～大	小～大
関係者	一定	一定	多様	多様
利用環境	一定	多様	一定	多様
利用方法	一定	多様	一定	多様
保守点検	される	される	される	されない
法的制度	有	一部有	未整備	未整備

リスクマネジメント社会の構造
残留リスク受容＆保証
補償請求
保険
保険金
残留リスク開示＆契約
基準、安全
認証
認証説明請求
認証
（基準・手順
・試験所）
説明責任
認証用データ
【第三者】
（ISO 17000シリーズ）
ユーザー
【第二者】
対価＆残留リスク受容
製品＆残留リスク開示（教育）
メーカー
【第一者】
9

安全設計の流れ(JIS B 9700-1)
リスクアセスメント
設計者による保護方策（3ステップメソッド、優先順位有）
1）本質的安全設計方策
2）安全防護
及び付加保護方策
3）使用上の情報
使用者
入力
設計者
入力
使用者による保護方策（優先順位無し）
・組織
・追加安全防護物の準備と使用
・保護具の使用
・訓練　等
リスク
許容可能な
リスク

リスクアセスメント
（ISO 12100:2010, ISO/TR 14121-2,JIS B 9702）
スタート
工学的判断
機械類の制限の決定
（意図される使用及び合理的予見可能な誤使用の決定）
リスク分析
リスクアセスメント
危険源の同定
リスク見積り
リスクの低減
リスクの評価
経営的判断
No
許容可能なリスク
は達成されたか
Yes
終了
11

リスクマネジメントの原則、枠組み、プロセスの関係（JIS Q 31000）
RMは
a) 価値を創造する
b) 不可欠で経営責任の一部
c) 意思決定の一部、支援
d) 不確かさへ対処
e) 体系的組織的
f) 最善情報に基づく
g) 組織文化を考慮
h) 人的、文化的要素考慮
i) 透明性、包含的
j) 動的、繰り返し使われ、変化対応
k) 継続的改善促進
原則
指令及びコミットメント
枠組みの設計
継続的改善
実践
モニタリング及びレビュー
枠組み
コミュニケーション及び協議
組織状況の確定
リスクアセスメント
リスク特定
リスク分析
リスク評価
リスク対応
モニタリング及びレビュー
プロセス
経営者の認めるあなたのサービスロボットの価値とは？

判例にみる安全

- 安全配慮義務違反（民事）、業務上過失致死傷（刑事）
- 事故の予見可能性、回避可能性の有無
  （JISはある条件下で証拠になる判例有）
- 十分な安全設計で刑事罰回避？、過失相殺？
- 合理的予見可能な誤使用による事故は設計者責任
- 損害賠償請求は3～20年

14

大阪地裁判決（平成21年9月28日）

・ジェットコースターの車軸が疲労破断し脱線死亡。業務上過失致死傷。
・JIS規格では1年に1回の車軸点検を要求だが未実施
・原告側「JIS利用が期待。JISを守れば事故は起きなかった。」
・被告側「JISは任意規格で順守義務なし。4割の施設は年次点検未実施」
・判決
  -有罪
  -JISは大臣認証であり、関連業界で広く使われており、法律にない点検詳細はJISで示されると理解。
(昇降機検査資格者（国土交通大臣登録）講習テキスト（甲206）、昇降機遊戯施設定期検査実務要綱（甲209）、当該JIS規格の解説（甲204）、国土交通省住宅局建築指導課課長補佐供述（甲207）、吹田市建築指導課職員供述（甲137）、遊園地の従業員らの供述)
  -6割の施設は年次点検実施しているので、JIS準拠点検は慣行として定着。

15

「消費者の購買に関するニーズの動向調査」(H22.4.21経産省)

- リーマンショック以降の日本の消費者の実像調査
- こだわりのポイント（N=3000。H21.12-H22.2調査）
  1：信頼性（60%）、2：安心（54）、3：低価格（54）、4：安全（50）、5：日本製（41）⇒低価格信仰の否定
- 非価格要素への「こだわり」は女性、高齢者ほど大
- 価格を下げると、消費者は、さらに価格要素を重視する際限なき価格競争へ（例：食品の場合、2割安くすると、価格の重要度が49%から60%）。
- 研究開発、経営企画・戦略部門で消費者情報活用度が低いのは特筆すべき問題

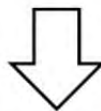
16

米国における災害対応ロボットの標準化

- NIST(国立標準技術研究所)が中心となり実施
- WTC航空機テロを契機にDHS(国土安全保障省)の推進する一連の対テロ・自然災害 対策技術開発の一環として、Urban Search And Rescue（USAR,都市探査救助) ロボットを対象に2005年から5年計画で実施
- 開発された技術標準はASTM（米国材料試験協会)から発行
  - 12のカテゴリー(移動能力、センサー能力、マニピュレーション能力等)
  - 2013年現在、17規格が発行されている。
- 各種調達基準として利用。
- 近年Explosive Ordinate Disposal(EOD, 爆発物処理)ロボットにも展開

17

米国における災害対応ロボットの標準化

- 災害対応ロボットは利用環境・使用法が多様
- 既存の仕様標準、性能標準を単純に適用することは困難。
  - 仕様標準：製品の具体的な仕様を指定する
  - 性能標準：製品に求められる性能を指定する

- 標準性能試験法(STM)の利用により上記課題を解決
  - 標準性能試験法(STM)：具体的な性能（移動能力 等）を測定する標準化された試験方法。
  - STMで得られた値は標準化活動としては判断せず（性能標準では一定の性能を要求する）、測定された値は製品の使用者が主体的に判断
  - STMにより災害対応ロボットの様々な性能を「見える化」し、その研究開発と実用化を推進

18

研究開発ライフサイクルと標準化性能試験法の利点

関係者	現状の課題	標準性能試験法利用の利点	図内番号
研究者	研究課題の実問題適合性不明	標準性能試験法開発時に実問題適合性考慮済	①
	結果の実用性評価困難	結果評価容易	②
開発企業	技術課題が多様・不明確であり開発非効率	技術課題明確化により開発効率化	①
	他分野・他国の市場要求不明	標準性能試験法の共通利用により他分野・他国理解容易	①
	実績少ないベンチャー企業は販売面で不利	性能の見える化で実績不足を補う	②
利用者	性能把握困難。調達基準不明確。	性能把握の効率化⇒調達基準の明確化、運用効率試算	③
	要員教育の目標不明確化	要員教育の目標明確化（開発メーカーによる標準性能試験時の値が最高値と推定される）	④
	現場適合性への不安	標準性能試験法に使用者参加で安心向上	⑤
	開発者との技術的コミュニケーション	開発者との技術的コミュニケーションの効率化	⑥
認証機関	認証基準・手順不明	認証基準・手順明確	⑦
保険機関	性能把握困難	性能把握容易	⑦
PJ評価者	PJ実施時の評価困難	PJ実施時の評価容易	22 ⑧

まとめ

- シュンペーター—のイノベーション理論
  - イノベーション（創造的破壊）は経済の持続的発展の源
  - イノベーションの5つの形
    1. 技術イノベーション
    2. プロセスイノベーション
    3. 新市場
    4. 新素材
    5. 新ビジネスモデル
  - イノベーションは技術＆社会制度の総合的視点必要
- サービスロボット分野の標準化活動をイノベーションの機会と捉える事で、産業化への新たな道筋を提供。
- 原状では標準化は「厄介事」「他人事」。更なる社会啓発必要。

23

５章　「ロボット大賞」表彰事業

5.1　「ロボット大賞」の実績

5.1.1　「ロボット大賞」の概要（目的、募集対象、実績）について

○事業の目的（第５回ロボット大賞より）

ロボットおよびロボット技術（RT）は、機械工学、エレクトロニクス、情報技術など幅広い要素技術から成り立ち、顧客の課題解決に向けシステム統合がなされる。ゆえに、産業分野における変革と共に、我が国が抱える少子高齢化や、それに伴う労働力不足など様々な課題に対し「解」を提示することが可能であり、また、その社会実装により公益性の高い新社会システムの創造につながると期待される。

本事業では、募集期間内に運用され、かつ将来の市場創出への貢献度や期待度が高いと判断されるロボットや RT 要素技術、その応用により有効性を提示したビジネスモデル等も含めた表彰を通じて、以下の 3 項目の実現を目的とする。 なお、RT とはロボット技術を広義に捉えた概念であり、ソリューションビジネス産業への移行を促す産業戦略を表現したキーワードでもある。

1. **ロボット／RT の実用化を促進し、研究開発の高度化ならびに次代の人材育成につなげる**
2. **ロボット／RT の有効性を提示し、サービスプロセスイノベーションの創出を促す**
3. **ロボット／RT を公知し、その社会実装による新社会システムの実現と産業創出に結び付ける**

○事業の名称

日本名：第５回 ロボット大賞

英語名：The 5th Robot Award

「ロボット大賞」ロゴマーク

○主催・協力

＜主催＞　経済産業省、（一社）日本機械工業連合会

＜協力＞　（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構、（独）中小企業基盤整備機構、（一社）日本ロボット工業会、（一社）日本ロボット学会、（一社）日本機械学会、（社）人工知能学会、（一社）日本人間工学会、（公社）計測自動制御学会、（公財）テクノエイド協会、日本科学未来館

※順不同

○募集対象

① 募集対象となるのは、概ね 3 年以内に日本国内で運用されたロボットや、近い将来、活躍が期待されるロボットのうち、 審査委員に当該ロボットを十分に審査する機会が与えられるもの。 それらを構成するロボット部品やソフトウェア。

ただし、中小システムインテグレーターによる産業用ロボットを中核としたシステム構築例は、概ね 5 年以内に運営されたものとする。汎用ロボットや産業用ロボットメーカーなどによるシステム構築例は、他と同様に概ね 3 年以内の運用とする。

また、「ロボットビジネス／社会実装部門」の新設に伴い、ロボットを利用するユーザー（事業者、NPO、自治体 等)、その開発を担ったシステムインテグレーターおよび RT システムプロデューサー(＊1)（組織や個人）を表彰対象に加える。

＊1 ロボット／RT に関する最新で、かつ包括的な知識を保有しており、必要とする各要素技術やそれらを統合する技術について優れた事業者と連携を組むことができる能力を持っている。同時に、サービス提供事業者の事業について明るく、ロボット／RT を組み込んだ新たなサービスシステムが考案でき、その提案能力を有する人材や組織。システムインテグレーターも包含する。(ロボットビジネス推進協議会 幹事 石黒周氏による)

② 本事業における「ロボット」とは、「センサ、知能・制御系、駆動系の 3 つの技術要素を有する、知能化した機械システムのことを意味し、「RT」と同義である。 したがって、「カーナビ」や「検索ロボット」は、駆動系を有さないため、ロボットの定義から外れる一方、自動車や情報家電でも上記 3 要素を有するものは本事業の募集対象となる。

③ 部品およびソフトウェア部門の募集対象は、上記「ロボット」に搭載可能なものとする。

④ 中小・ベンチャー企業や大学・研究機関、研究開発段階のロボットまで幅広く募集の対象とする。

○ 応募資格者

応募対象となるロボット等を自薦及び他薦できるのは、個人または企業、大学、研究機関、団体。また、グループでの応募も可能。

○部門

[1]サービスロボット部門

オフィス、家庭、公共空間等で各種サービスを行うロボットおよびシステム。

以下の例にあるような「製造業以外の現場で使用されることが想定されるロボット」。

<例>

介護福祉ロボット、医療用ロボット、搬送ロボット、案内ロボット、警備ロボット、清掃ロボット、農業支援ロボット、家事支援ロボット、受付ロボット、エンターテイメントロボット など

[2] 産業用ロボット部門

工場などの生産現場で製造の一部を担うロボットおよびシステム。以下の例にあるような「製造業の現場で使用されることが想定されるロボット」。

<例>

組立ロボット、検査ロボット、搬送ロボット、塗装ロボット、電子部品実装ロボット、研磨ロボット、洗浄ロボットなど

[3] 公共・フロンティアロボット部門

災害対応、海中捜査、特殊環境下等で働くロボット

<例>

汚染環境作業ロボット、瓦礫内移動探査ロボット、メンテナンスロボット、深海探査ロボット、建設ロボット、宇宙探査ロボット、災害復旧無人化施工ロボット、その他災害現場や宇宙・深海などの特殊環境で使用されるロボットなど

[4]部品・ソフトウェア部門

- ロボットの一部を構成する部品又はソフトウェア。
- ソフトウェアとしての募集対象は、以下のいずれかに該当するものとする。

1) ロボットの機能を実現することで、そのロボットの活躍に貢献するソフトウェアでありその特徴を充分に説明することが可能なもの。

2) ロボットの開発及び検証を支援するためのソフトウェアで、その利用がロボットの活躍に貢献し、その特徴を十分に説明することが可能なもの。

[5] ロボットビジネス／社会実装部門

- ロボットを導入し、活用するメーカーや事業者、システムインテグレーター等、ロボットのサービス／社会実装につなげた例、またその中核を担った人材。

○審査の基準

① 社会的必要性がある
これまでの導入・販売実績、将来のロボット市場創出の期待度、メリットの大きさ、ニーズの強さ、公益性等から評価する。

② ユーザーの視点に立った評価をする
利便性、実用性、経済性、デザイン性、維持コスト等から評価する。

③技術的先進性がある
安全性、新規性、技術的安定性、動作環境の汎用性や操作性等から評価する。

○審査にかかる特別要素

1)「ロボットビジネス/社会実装部門」については、サービスシステムから社会システムまで、ロボット/RT の実装につなげた例（つながる可能性が高い例）を評価する。また、サービス事業者や RT システムプロデューサーなどの主導によるアプローチも評価対象とする。

2)「公共・フロンティア部門」のロボットについては、「行政等のユーザーの立場で考えたときに、購入することが望ましいか」という視点で評価を行う。

3) 開発段階のロボットについては、将来への期待度を中心に評価する。

4) 中小・ベンチャー企業については、今後の事業化を奨励するためにも積極的に評価を行う。

5) ロボット産業の発展のため、下記の事例に該当する応募案件については、審査の際に積極的に評価を行う。

ア）介護・福祉等の生活支援分野で活躍するロボット
イ）ユーザーと連携してのロボットの導入
ウ）ユーザー、サービス事業者と連携しての事業展開

○これまでの開催実績

過去5回	応募数	部門別応募数	受賞件数	表彰式／展示会
第1回（2006年）	152件	サービスロボット:62件 産業用ロボット:23件 公共フロンティア:15件 中小企業ベンチャー:52件	10件	日時:12月22日(金) ～23日(土) 場所：TEPIA（青山） 入場者数：1,001名
第2回（2007年）	82件	サービスロボット:49件 産業用ロボット:6件 公共フロンティア:12件 部品・ソフトウェア:15件	13件	日時:12月21日(金) ～22日(土) 場所:TEPIA（青山） 入場者数:1,465名
第3回(2008年)	65件	サービスロボット:44件 産業用ロボット:5件 公共フロンティア:4件 部品・ソフトウェア:12件	8件	日時:12月19日(金) ～21日(日) 場所:TEPIA(青山) 入場者数:2,370名
第4回(2010年)	92件	サービスロボット:48件 産業用ロボット:16件 公共フロンティア:11件 部品・ソフトウェア:17件	12件	日時:11月26日(金) ～28日(日) 場所:日本科学未来館 入場者数:5,189名
第5回(2012年)	83件	サービスロボット:18件 産業用ロボット:18件 公共フロンティア:16件 部品・ソフトウェア:15件 ロボットビジネス/社会実装部門（新設）:16件	10件	日時:10月17日(水) ～19日(金) 場所:東京ビッグサイト東3ホール 入場者数:9,413名

5.2 「第５回ロボット大賞」の狙いと概要

5.2.1 「第５回 ロボット大賞」の変更内容

「第 5 回ロボット大賞」では、審査・運営委員会での検討をもとに、下記について変更を行った。

① ロボットビジネス／社会実装部門の新設
② ノミネート委員会の新設
③ 専門家を中心とした審査・運営委員会の構成

①ロボットビジネス／社会実装部門の新設については、「5.2.2 節」で詳解し、また、②ノミネート委員会の新設は、「6 章」の見直し案で詳解する。前回の第５回では、ノミネート委員会では、新設した上記部門への積極的なノミネーションを行うことをミッションの 1 つとしており、リスクコミュニケーションを通じたサービスロボットの講習システムや、客観的臨床試験へのロボットの実装例など 4 件の推薦を行った（全体で 9 件を推薦）。

③審査・運営委員会のメンバー構成の変更は、第 1～4 回ロボット大賞の審査内容ならびに現在の非産業分野におけるロボット市場の広がりを考慮し、大幅な変更を加えた。第 1～4 回の審査で明らかになったのは、非産業用ロボット市場はいまだに限定的な市場にとどまっており、これらを的確に評価できるのはロボット研究者および技術者、ビジネスに関わる者など業界関係者に限定されるにもかかわらず、将来市場の拡大を見越した人選（ロボットには関わりの薄い専門家）を行った結果、踏み込んだ評価がなされてこなかったことである。正しい評価を行うために、下部組織であるはずの専門家から構成される「技術小委員会」が現地調査を担っており、また、同委員会からの意見がそのまま審査委員会に反映されることが見受けられた。

加えて、非産業分野におけるロボット市場は、BtoB 市場から立ち上がることが見込まれることと、システムインテグレーションを含め 2 兆円程度の市場規模があるとされる産業用ロボット市場（非産業用ロボットのみでは 6,000 億円弱(*2)）をより適切に評価すべきという考えから、ロボット研究者および技術者を中心に、ロボット／RT を切り口とした事業創出の経験のある実務者やコンサルタントなどを審査員に起用することに改めた。また、これらの起用はロボットビジネス・社会実装部門の新設にも対応する人選である。

＊2:富士経済が取りまとめた「2013 ワールドワイドロボット市場の現状と将来展望」によると、

非製造業向けロボットの市場規模は、2012 年が 297 億 5,500 万円、2013 年は 384 億 8,500 万円見込みとしており、2014 年には 415 億 7,000 円に、2015 年には 496 億 2,000 万円に拡大すると予測している。今後、数年で非製造分野のロボット市場が産業用ロボット市場を凌駕することはなく、産業用ロボット市場をもっと重視すべきという考えがある。

5.2.2 「ロボットビジネス／社会実装部門」新設の狙い

「第５回 ロボット大賞」では、ロボットビジネス／社会実装部門を新設した。その狙いは、ロボット業界における産業の「出口論」の議論の活性化にある。2000 年代半ば頃から論じられている「モノづくり」「コトづくり」の関係でいえば、前者は「モノ（ハードウエア)」「技術」「特許」･･･からのビジネス創造に、後者は「ソフトウェア」「サービス」「ライフスタイル」･･･からのそれとなり、前者は産業の入口論、後者は出口論に位置づけられる。これまで入口論に傾倒したあまり、非産業分野におけるロボット事業および産業の創出に至らなかったが、これを改め、出口論の真摯な検討を通じて、ロボット／RT（Robot Technology）の社会実装を果たそうする思いが込められている。

また、あえて社会実装という表現を用いたのは、ロボット／RT が社会システムを担う基盤になり得るという考えによる。つまり、ロボット／RT を「人間が有する基本機能（運動機能や感覚機能）を自動機械に置き換える技術」と定義するならば、人と協調・協働することで、人を中心に組み立ててきたサービスおよび社会システムの高度化に寄与するという捉え方である。ロボット／RT を単に特定機能を有する製品や部品として捉えるばかりではなく、こうした広義な見方へと促すという意図がある。

これまでにも出口論がまったく議論されてこなかったわけではない。例えば、2001 年に取りまとめられた『21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書』(日本機械工業連合会と日本ロボット工業会まとめ)では RT 戦略が打ち出され、ロボットを「RT」と広義に捉え直すことで、わが国のロボット産業をソリューションビジネス産業へとシフトする考えが示された。現在の社会実装の議論から、そうかけ離れていなかったが、「RT ミドルウエア」に代表される技術的アプローチを除き、その具体的な方法論を構築できず、こうした産業構造へと向かわなかった。ロボット／RT の社会実装を考えることは、その仕切り直しでもあるともいえる(*3)。

＊3:第５回 ロボット大賞の審査対象に「システムインテグレータ」と、その概念を拡張した「RT システムプロデューサ」を加えたのは、RT 戦略の中核を担うこれらの人材不足によりソリューションビジネス産業に向かわなかったという反省によるものである。こうした人材への表彰を通じて、ロボット業界内でのプレゼンスを高め、その育成を図るという狙いがある。ただし、ここでのシステムインテグレータは、産業用ロボットのシステム構築を担う事業者（システムインテ

グレータ）とは性格が異なる。

また、同部門を新設した背景には、それなくしては社会的課題の解決には至らないという現状認識もある。最近は、少子化・高齢化に起因する社会的課題が顕在化しており、例えば、労働人口の急速な減少に対応する一方で、介護保険や医療保険など増大する社会コストの圧縮にも対応しなければならないという試練を迎えている。

ロボット／RT は上述のように定義できる技術であり、また（ロボット制御技術は）コンピュータの抽象世界と力学の世界をつなぐ存在であり、現実世界に対して効率的かつ効果的に、ときには優しく作用できる。特に、介護に代表されるライフイノベーションの分野（現場）において、QOL（生活の質＝幸福や自立など）の向上と効率性の向上という、トレード・オフの関係にある両者を達成する手段になり得る。われわれが直面する試練に対し、最適解の 1 つとなる可能性がきわめて高い。ゆえに同部門の新設は必定ともいえる。

5.2.3　第 5 回ロボット大賞における評価と社会実装

ここからは、前節の実践例の 1 つとして、ロボットビジネス／社会実装部門で「優秀賞」となり、ロボット大賞（経済産業大臣賞）に選出したパナソニックと松下記念病院の共同提案「生活支援ロボットソリューション事業」を取り上げる。そして、ロボット大賞における評価点と社会実装との関係性を述べる。

パナソニックでは、一貫して「『モノ』ではなく『コト』、すなわちソリューションを提供するビジネスモデル」を追求するなど、前節の問題認識に応えるような活動を展開してきた。これが受賞理由の 1 つになったわけだが、その詳細を見ると、社会実装にかかる課題（過去の失敗例）に対し、有効な手立てを組み込まれていることが伺える。

まず 1 つは、サービス事業者との専門性の差異を埋めるための方策である。サービス事業者の多くは、現状ではロボット／RT のような先端技術を理解することができず、それによるベネフィットが伝わらないことが多い（詳細は前回報告書を参照）。結果、漠然とロボット／RT 以外の有効な代替手段があるかのごとく反応がなされる。特に、パナソニックが扱うような生活支援ロボット群（院内搬送ロボット「「HOSPI（ホスピ）」など複数のロボットやシステムから構成）に対しては“非人間的な姿（例えば、ロボットが介護サービスを直接提供するなど）”を勝手に思い描くなど、これらがサービスおよび社会システムに実装された姿を誤解する傾向にある。

例えば、2010 年にパナソニックも参加した「介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト検討会」（厚生労働省）でのやり取りは、その一例といえるもので、冒頭からパナソニックの「ロボティックベッド」などに対し、辛辣な意見がサービス事業者（介護関係者）側からぶつけられている。議事録を見る限りは、双方とも妥当な意見を述べているにもか

かわらずにである。せめて、パナソニック側が「ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health：国際生活機能分類)」の観点からロボティックベッドを紹介していれば、一方で、介護関係者がモノづくりにおけるコンプトモデルの役割を理解しつつ、ロボティックベッドのベネフィットをイメージできていれば、このようなやり取りにはならなかったと想像される。

ここでのやり取りから、まず両者に必要なのは「議論」ではなく、互いを理解して話を進めるための「対話」であることが伺えるであろうが、パナソニックでは、そのための「場」の創出にロボットオープンラボを役立てている。ロボットオープンラボの役割は、ロボット群によるソリューションの“見える化”ならびにイメージの共有を第一とするが、こうした場があることで対話が進展するという効果も得ている。ここ数年、イノベーションを興すための場としてフューチャーセンター(*4)が注目されているが、ロボットオープンラボが類似の役割を果たしている結果、ロボット群の導入実績につながったと分析される。

＊4：多様な専門家やステークホルダが集まり、オープンな対話や議論を通じてイノベーティブな解決策を創出する場。地域医療や地域介護など社会的課題を検討する場として、地方行政などが注目している。また、大阪市の新産業創造推進室が運営する「ロボットラボラトリー」も、こうした機能を果たしているからこそ、製造業に限定されず、様々な事業者が開発案件や課題を持ち込み、これらを議論したり事業化を検討したりする場になっていると考えられる。

2 つ目は、ユーザー・ドリブン・イノベーションを興すための仕掛けを講じていること。非産業分野に向けたロボット／RT ビジネスでは、それによってサービスイノベーションを興す以上、単にサービス事業者（ユーザー企業）の立場で開発するのではなく、ユーザーがコミットする、ときにはユーザー自らが改変・改良することにより、より望ましいソリューションに仕立てあげることが求められる。

パナソニックでは複層的に展開しており、まず、リードカスタマーに位置づける松下記念病院とは、同病院との協業を通じて、業務分析やコンサルティングの体系化を進めつつトータルソリューションの構築を図っている。次に、ロボット群の導入に前向きな他の医療機関（次の顧客）とは、体系化したノウハウをもとに、トータルソリューションの PDCA サイクルを共同で展開することで、それぞれの課題に応じたソリューションにて提供している。以前より、リードカスタマーが（利用面での）イノベーションを主導することが知られているが (*5)、同病院での運用例を通じてのロボット群の啓蒙普及は、さらなるユーザー・ドリブン・イノベーションを興すうえで効果を得ていると推測される。

また、松下記念病院では病院業務支援ロボット群を対象とした一方で、介護自立支援ロボット群についてはサンセール香里園など他の機関と共同で体系化を図っており、こうした意味でも複層的といえる。

＊5：例えば、Hippel, Eric, “Democratizing Innovation”, MIT Press, 2005.（エリック・フォン・ヒッペル著『民主化するイノベーション ―メーカー主導からの脱皮』（ファーストプレス）。

ユーザードリブンイノベーションに向けた取り組み

【医療分野 病院】
ニーズのキャッチアップ
事業パートナー・新規顧客の探索
【福祉分野 介護】
大阪大学保健学科
共同研究講座
ロボティクス＆デザイン
看工連携
ヘッドケアロボット評価
（洗浄度・快適性）
ロボット事業推進C
ロボットオープンラボ
国立リハビリテーション
センター研究所
生活支援ロボット
実用化プロジェクト
ロボティックベッド
ユーザービリティ評価
リードユーザーによる
導入検証
リードユーザーによる
導入モデル病院の構築
対話（理解促進）
リードユーザーによる
導入検証
松下記念病院
ユーザードリブン
イノベーション
サンセール香里園
彩都友紘会病院
HOSPI-Rimo実証
啓蒙
薬剤業務支援ロボ
導入モデル病院
トータル
ソリューション
電動ケアベッド
機能評価
埼玉医大国際医療C
HOSPI導入
リードユーザーによる
導入検証
運用課題の解消
淀川キリスト教病院
HOSPI導入
デンマークコンソーシアム
パナソニックヘルスケア
PSSJ
シンガポール
KKH・SGH
HOSPI導入
ロボティックベッド
現場実証・
実用化開発
スーパーヘアセオ
ヘッドケアロボット
実ユーザー試行
販売提供
HOSPIシステム
商材化
長島スパーランド
LED可視光通信S
シンガポール TTSH
ロボティックベッド現場実証
PSSJ:パナソニックシステム
ソリューションズジャパン
新規顧客

■ 図 5.2.3-1　パナソニックにおけるユーザー・ドリブン・イノベーションの取り組み。パナソニックの公開資料をもとに加筆した。

そして、3 つ目は、サービス（プロセス）を再設計するアプローチである。そもそもサービスシステムは、ユーザーが求める価値を効果的かつ効率的に提供できるように設計されており、同時に、経営効率に寄与するよう、人を中心とする様々な構成要素（人のほか道具やシステム、空間など）がトータルで統合されている。ところが、ロボット開発側からなされる提案は、ロボット／RT により技術的に置き換え可能な局所的なサブプロセスの改善に集中する。サービスイノベーションを興すための糸口として、サブプロセスの改善からスタートするのは良いことだが、それぱかりで終わってしまっては、サービスシステム全体や経営に対する改善効果が見えず、結果、ロボット／RT の導入に至らない。

本来は、IT がサービス業にイノベーションをもたらしたのと同様、トータルプロセスを再設計するアプローチをとるべきある。パナソニックでも同様に実践しており、具体的には、同社の NEXT セル生産ツール（現場観察・分析ツールなど）による業務分析やコンサルティング、システムソリューションの企画・提案、ロボットおよびインフラの導入という流れにて、サービス事業者と PDCA サイクル（*6）を展開し、サービスプロセスの再設計を伴うロボット群の導入を果たしている。トータルで（病院）経営への改善効果が見えるソリューションへと仕立て上げている。具体的なアプローチは「PART2」を参照してほしいが、

こうした提案により、潜在的なロボット群の導入ニーズの顕在化につなげている。

＊6：サービスサイエンスにおける「最適設計ループ」に近い取り組みといえる。サービスの現場での人間行動の「観測」、得られた観測結果の「分析」、分析結果にもとづいた消費者や供給者、社会のニーズに適応したサービスの「設計」、設計したサービスの現場への「適用」を反復的に展開することで、サービスイノベーションを果たそうとしている。

■ 図 5.2.3-2　院内サービスの再設計のために実施したパナソニックによる業務診断の一例（第5回ロボット大賞資料より）

これら3つの方策は、ロボット／RT特有といえる1つ目を除いては、IT業界などソリューションビジネス産業で実践されており特段、真新しいものではない。しかし、前節で述べたように、ロボットありきのプロダクトアウトの発想でビジネス創出がなされる傾向にあり、なかなか実践されてこなかった。こうした状況に一石を投じたという点で有意である。

また、こうした方策は、前回の報告書で述べたRTシステムプロデューサがすでに実践しているが、彼らの取り組みは個人の高度な能力（属人的なノウハウなど）に依存するという事情から、参考にしようにも実践が困難だった。パナソニックによる活動は初めて組織的に実践したものであり、社会実装のベストプラテクティスとなり得るからこそ、ロボット大賞に相応しいと評価した。

5.2.4　「第５回ロボット大賞」受賞後のコメント

表彰位／受賞ロボット	会社／団体名	受賞後のコメント
第５回ロボット大賞 （経済産業大臣賞） 生活支援ロボットソリューション事業の推進	パナソニック㈱／ 松下記念病院	生活支援ロボットの事業化を推進して４年間、様々なロボットを開発して顧客に持ち込み実証試験を行ってきました。しかし、現場では良い評価が多いにもかかわらず事業化が遅々として進みませんでした。その根本原因は、顧客はロボットという「モノ」の提供を望んでいるわけではなく、現状の課題を解決する手段やソリューションといった「コト」の提供であるという顧客視点での開発を忘れていたことでした。 そこで顧客第一の発想に立ち返り、ロボットによるソリューションがどのようなすばらしい未来を拓くのかを実際に見て体験いただけるオープンラボを設置しました。そしてリードカスタマである松下記念病院に導入し、他病院に拡大展開することで本格事業立ち上げに至ることができました。
最優秀中小・ベンチャー企業賞 （中小企業庁長官賞） ロボット用 3 次元ビジョンセンサ「TVS シリーズ」	㈱三次元メディア	「ＴＶＳシリーズ」は、本格的に市場からのニーズに応えたビジョンセンサで、いままでロボットによる自動化が難しいといわれていた、荷姿がバラ積み、バラ置き、段積みのワークを自動ピッキングするための「ロボットの目」の役割を担います。 新規はもとより、導入ユーザからも評価が高く、また、更なる機能向上への期待も大きいので、市場からの要望への対応を日々、追及しています。3D ビジョンシステムの自動化によるラインの全自動化がすでに夢ではなくなっています。我々は３次元ロボットビジョンの普及を図り、これによって、我が国の国際競争力を高め、工場を国内に残し、産業の発展に貢献していきたいと考えています。
日本機械工業連合会会長賞 知能化組立ロボット「F シリーズ」	三菱電機㈱	「次世代のモノづくり力を支えたい」、そんな思いから知能化ロボット開発プロジェクトがスタートしました。オープンイノベーション戦略も活用して若手とシニア層が熱い議論を交わしながら、多くの知能化技術開発を進めました。 また、受け皿となる新型ロボット開発を並行して進め、これらを結晶させる形で今回の組立セルを構築、従来は人にしかできなかった高度な組立作業を実現しました。開発技術は産業用ロボットＦシリーズの制御ソフトウェアとして搭載されており、簡単かつ迅速に高度なロボットシステムを構築することができるようになっています。今後も日々変化する市場に対応した進化を続けながら、モノづくりの世界がさらに広がることを期待しています。

表彰位／受賞ロボット	会社／団体名	受賞後のコメント
次世代産業特別賞 フレキシブルな自動組立ラインを実現するヒト型ロボット「NEXTAGE」	グローリー㈱／川田工業㈱	「次世代産業特別賞」をいただいたことをきっかけに、マスコミにもとりあげられるようになり、多品種変量生産工程へのロボットの活用というわたしたちの新たな取り組みに関して、日本全国、そして海外の方からも数多くの反響をいただくようになりました。グローリー埼玉工場では、昨年のロボット大賞受賞時点ではNEXTAGE4 台と 3 台で編成される２つの生産ラインが稼働している段階だったのですが、その後の半年の間に次のラインの構築が進んでいままでは 4 ラインが稼動、17 台の NEXTAGE による生産ラインが実現しました。 この新たな生産ラインへの取り組みにつきまして、グローリーは今年 9 月、第 5 回ものづくり日本大賞（経済産業大臣賞）を受賞いたしております。 多品種変量生産のモノづくりにおいて、ロボット活用の可能性がますます広がっていくことを期待しています。
社会貢献特別賞 原発対応ロボット「Quince／Rosemary」	千葉工業大学	原発対応版 Quince1～3 号機は福島第一原子力発電所の事故に対応して千葉工業大学が開発したものです。その高い走行性能により、事故現場の状況の観察、線量分布の測定など、重要なデータの収集に貢献しました。とくに冷温停止実現のためのバルブ操作作業を行うための建屋内部の撮影・線量分布計測は重要な貢献でした。今も様々な観測や計測に使われています。 現場の作業員と密なやり取りを行いながら様々な工夫や改良を施すとともに、学内にモックアップを構築して操縦訓練・運用試験を行うなどユーザの視点に立った開発を行ったことで使いやすいロボットが実現され、この成果につながったものと考えています。
優秀賞 (産業用ロボット部門) 球面超音波モータを使用した「管内検査ロボット」	㈱キュー・アイ／東京農工大学遠山研究室	人の眼球や肩関節のような球ジョイントをアクチュエータにしました。球面超音波モータは、ロボットのような多自由度機構には最適なアクチュエータです。サイズや材料の制約がなく小型から大型まで設計の自由度が大きいモータです。ロータ部分が最小 3mm から 150mm まで実績があります。球ロータにカメラを搭載すれば人の目のように動き、周りを観察でき、大きいものは水道管やガス管にいれることで内面を手軽に検査できます また、小さいものは体内にいれて、内臓の中をぐるり見渡せる内視鏡にでき、ものでも人でも管の内面検査に適したモータともいえます。この日本発のユニークな技術が世界の医療、環境、製造の現場で広く使われることを期待しています。

表彰位／受賞ロボット	会社／団体名	受賞後のコメント
優秀賞 （産業用ロボット部門） ロボットの自在性を活かした「3次元鋼管曲げ（3DQ）ロボット」	新日鐵住金㈱／日鉄住金鋼管㈱／日鉄住金プラント㈱／㈱安川電機	CO2 排出量削減や安全性の向上という自動車のニーズに応えるため、3DQ（3次元熱間曲げ焼入れ）を開発しました。3DQは、鋼管を素材にして、3次元形状の超高強度な自動車部品を、1工程で製造できる世界初のプロセスです。他の材料に比較して、高強度の部品が安価に得られる鉄の良さを、究極まで引き出すことが可能になりました。 この3次元加工を実現するために、汎用性のあるロボットを適用し、制御技術・加工技術の開発を行って参りました。今後とも、ユーザ様のご要望にお応えすべく、3DQ技術の更なる発展を図り、自動車の軽量化と衝突安全の向上に貢献して参りたいと考えております。
優秀賞 （公共ロンティアロボット部門） 自律型海中ロボット「Tuna-Sand」	東京大学生産技術研究所　海中工学国際研究センター／㈱海洋工学研究所／（独）海上技術安全研究所	“Tuna-Sand”は深海底の詳細画像観測を目的に開発された重量約240kgの自律型海中ロボットで1,500m深度まで潜航することができます。自身に搭載しているセンサのみで複雑な形状の海底面から数メートルの高度を全自動で潜航することができます。1回の潜航で高解像度の海底写真を約2,000枚取得します。2007年の進水以来、これまでに鹿児島湾たぎりや若尊カルデラ、ベヨネーズ海丘、明神礁カルデラ、黒島海丘、手石階級、富山湾ハイドレート地帯、伊是名海穴、第四与那国などを調査しました。 1,000m 深度の富山湾の潜航では、棲息するベニズワイガニの生態を明らかにし、水産研究者から高い評価を得ています。2012 年10月にスミスカルデラにて“Tuna-Sand”を含めた3台のAUVを同時展開し、限られたシップタイムを有効利用できる手法を提案し、その有効性を示しました。2013年5月に行った紋別沖の北見大和堆の調査では、希少なキチジの資源量を定量的に計測、また生息場所の様子や海底低質を明らかにし，キチジの持の持続的な利用に大きく貢献しました。
優秀賞 （部品・ソフトウェア部門） 次世代ロボット向け RT システム 「SEED Solutions」	THK㈱	RT システムにも、統合化されたシステムが存在することを知っていただけると幸いです。次世代ロボットを構築するためには、ハード部分の根幹を支えるRTシステム要素部品の充実と、アプリケーションソフトの充実が不可欠です。 SEEDを用いてRT機器を構築していただければ、アプリケーションの開発にお客様のリソースを集中していただけますので、統合的かつ効率的な開発が可能になります。SEED Solutions によって、引き続きＲＴ業界の発展に貢献したいと思います。

表彰位／受賞ロボット	会社／団体名	受賞後のコメント
優秀賞 （ロボットビジネス／社会実装部門） 災害現場で活躍する「次世代無人化施工システム」	鹿島建設㈱／㈱熊谷組	人間が立ち入ることのできない危険な作業現場において、遠隔操作が可能な建設機械で作業を行う「無人化施工技術」は、約 20 年前の雲仙普賢岳災害復旧を契機に開発、実用化されました。この度、ICT（情報通信技術）を活用し飛躍的な進化を果たした「無人化施工システム」を、放射線下での災害復旧工事及び大規模斜面崩壊災害復旧工事に適用し、目標とする成果を得ることができました。 これらの施工実績により、多様な形態の大規模災害復旧工事において、遠隔操作技術が果たすべき大きな役割を示すことができました。今回の栄誉ある賞を力にし、今後も災害復旧対応を通じて広く社会に貢献できる技術開発に取り組んでまいります。

5.2.5　「Japan Robot Week2012」における「第 5 回ロボット大賞」表彰式およびシンポジウムの実施

サービスロボットの複合イベントである「Japan Robot Week2012」において、「第 5 回ロボット大賞」の表彰式と合同展示を行った。

日時：2012 年 10 月 17 日（水）～19 日（金）10：00～17：00
会場：東京ビッグサイト　東 3 ホール
開催規模：62 社・団体　203 小間　　来場者数：9,413 名

【同時開催イベント】

第5回ロボット大賞

主催：経済産業省、（一社）日本機械工業連合会
内容：表彰式とロボット大賞（経済産業大臣賞）他、受賞ロボットの合同展示を行う。

NEDO国際ロボットフォーラム　NEDO

主催：（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
内容：国際ロボットフォーラムの開催や生活支援ロボット、医療/介護ロボット、災害対応ロボットの実演と体験会を行う。

主催：サービスロボット技術交流事業実行委員会
（神奈川県、（一社）日本ロボット工業会、日刊工業新聞社）
内容：最新の介護・福祉ロボットや移動ロボットなど展示。

つくば国際戦略総合特区フォーラム

主催：茨城県、つくば市
内容：つくば国際戦略総合特区に関わるフォーラムのほか、展示会場では、特区のロボットプロジェクト紹介を行う。

○表彰式

日時：2012 年 10 月 17 日（金）10：45～12：00

場所：東京ビッグサイト東 3 ホール　メインステージ　　参加者：約 120 名

（主催者挨拶）日機連　伊藤源嗣会長

（受賞者代表挨拶）パナソニック　野村剛常務取締役

（講評）審査特別委員会 三浦宏文委員長

○受賞プレゼンテーション　ステージ

日時：2012 年 10 月 18 日（木）14：00～16：30

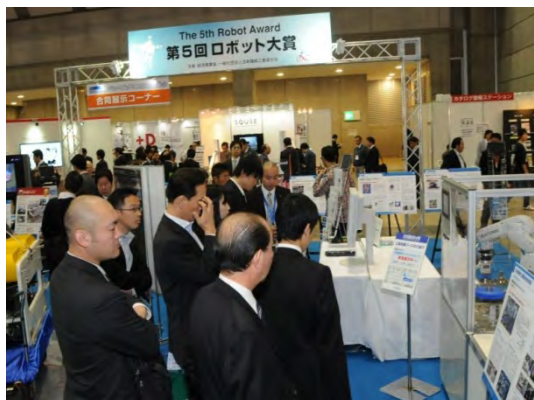
場所：東京ビッグサイト東 3 ホール　メインステージ　参加者：約 350 名

○受賞ロボット合同展示

日時：2012 年 10 月 17 日（水）～19 日（金）10：00～17：00

場所：東京ビッグサイト　東 3 ホール内

5.2.6　「2013 国際ロボット展」での PR 活動

日時：2013 年 11 月 6 日（水）～9 日（土）10：00～17：00
場所：東京ビッグサイト　東ホール　　来場者数：103,804 名

5.2.7　公式 HP での PR

「ロボット大賞」の公式 HP を使用して合同展示の紹介を行った。

5.3　「ロボット大賞」の課題と今後の展開について

5.3.1　第1回 審査・運営委員会における検討

・今までのロボット大賞は、どちらかというと大きなビジネスにつながるようなものを表彰していた。むしろ単品でも、一つの事例であっても、システムインテグレーションのやり方が他のビジネスに影響を与え得るようなものを表彰してもいいのではないか。

・システムインテグレーションについては、あるレベルまでは標準化しても良いが、そこから先は標準化せずに競争力を維持するという方がいい。

・システムインテグレーションは、人であるというのが非常に印象的で、そういう人材を育てなければならないし、この賞がどう役立てられるのかを考えていかなければいけないと感じている。

・本当に奨励したいものが何かをもう一度考え直した方がいいのではないか。ロボット大賞で表彰したいのは、技術が発展した部分よりも新しいビジネスを生み出すかどうかが重要であると思う。

・介護・福祉機器にRTを導入したことで便利になったというような事例は、そのことで壁を一つ乗り越えたぐらいの価値があるので、拾い方を工夫して取り上げて良いと思う。

・大賞のレベルに値するものがない年は、「大賞なし」という意思表示も必要なのかもしれない。

・まだ「ロボット大賞」のハードルが高いと思われている気がする。個人や若手の研究者が応募してみようと思うようなものにはなっていないし、その受け皿もまだない。完成したシステムでなくても、イノベーティブなアイデアであれば評価できるような仕組みがほしいと思う。

・最初は評価が実績重視になっていたが、最近はビジネス化への期待値の高さも重視されるように変わってきたと思う。今まで表彰してきたものも、必ずしもビジネスに結びついているわけではないが、成果は出ていないが期待値が高いから表彰したものもある。

5.3.2　第 2 回 審査・運営委員会における検討

・ノミネート委員会については、業界を良く知っている方にお声がけ頂く。また、分野毎に最低一人ずつ選び、関連団体やジャーナリストなどにもノミネート委員会に入ってもらうのが良いのではないか。

・ロボットの概念を広げていく取り組みをするべき。受け手側から「ロボット」であると捉えられていないものがまだ多い。ノミネート委員会は、ロボットの概念を周知していく役目を担う必要がある。

・「災害」の部分のカテゴリを変えるのは重要なメッセージであり、同じ制度でずっとやり続ける価値もあるが、ロボット産業においては常に革新が続いており、政策を表明する一貫として表彰制度も変更しても良いと思う。

・介護・福祉ロボット等について、分野を新しく設けるべきか検討が必要。

・ある表彰制度では、ファイナリストを HP で公表している。

・ファイナリストの公表は、応募総数との兼ね合いもある。
また、継続しての応募も考えるとファイナリストにあがった候補は表彰することが難しくなる場合もある。

・モチベーションを上げる方向に持っていきたいが、これ以上ファイナリストの数を増やすと現地でのヒアリングがスケジュールの関係上難しい。

5.3.3　第 3 回 審査・運営委員会における検討

・「公共・フロンティアロボット部門」の名称について「公共・災害対応ロボット」という案もある。

・「公共・災害対応」というよりは「公共サービス」という言い方ではないだろうか。

・サービス用というと、国際ロボット連盟の分類では業務用と家庭用に分けられる。
ロボット白書の分類では、サービス系・産業系・フィールド系。社会インフラのようなものはフィールドに分けられる。

・「災害」という項目は具体的に絞り込んだものであるが、その他の各項目についても項目名と別にそれぞれ具体的なロボットの例をつけて、応募者がイメージしやすいようにしていくべき。
　一般にサービス産業も産業、フィールドのロボット提供も産業。従来産業ロボットというと、製造業のロボット産業であったが、そのジャンルが広がりつつあるので、もう少しわかりやすくしなければならない。

・産業ロボットは人間と隔離した空間で働くロボット。サービスロボットは室内で作業し、人間と共存していくロボット。公共・災害対応ロボットは室内以外で役に立つロボットとして大体のイメージはできるのでは。
　また、公共・フロンティアロボットの説明文の中の、「営利を目的とせず」という文言は必ずしも必要ではないのではないか。この分野は内容が重要であって、結果として営利が得られるかどうかは募集の段階では重要ではないのでは。

・「フロンティア」を「特殊環境」に置き換え、細かい部分は説明を付け足してはどうか。事業化や実用化の度合い等、評価軸に関しても記載し、評価してほしい分野に応募してもらう。

・DARPA ロボティクスチャレンジのような大きな流れは押さえておきたい。日本人、日本製、日本初等でどう判断するかは議論が必要。また、各種チャレンジ、普及策についても今後の課題にしたい。

・イノベーティブで、しっかり具現化されたロボットが新たな道につながっていくということがあったら良い。

・産業用ロボットでは、これまで電子実装を表彰してこなかったが、かなり評価するべきところにきている。そういったものを表彰できれば良い。

・次回のノミネート委員会では、できるだけ応募を多く集めるために、推薦された方々全員を委員とし、その中から幹事を選ぶのはどうか。

・予算の関係もあるのでボランティアでお願いする場合、「委員」ではなく、「ノミネーター」としたらどうか。

6章　まとめ「ロボット大賞」表彰事業の見直し案の提示

6.1　次回「第6回ロボット大賞」に向けての見直し案

①「公共・フロンティアロボット部門」の名称を「公共・特殊環境ロボット部門」に変更する。

②ノミネート委員を部門毎に選出するほか、ノミネーターとしてロボット業界に関係の深い学識者の方々にロボット大賞応募候補の推薦を依頼する。

③部門毎に応募対象を明示するほか、審査のポイントについても分かりやすく応募者に伝えることとする。

6.2　次回「第6回ロボット大賞」に向けての提言

前項の見直し案について、それぞれの意図を以下に述べる

①東日本大震災後の被災地における災害対応ロボットの活躍や、高速道路などでの検査・点検ロボットの開発も進められており、当初の「公共・フロンティアロボット部門」より、「公共・特殊環境ロボット部門」の方が、現在のロボット開発動向に近く、応募も行いやすいと判断して名称を変更した。

②前回よりノミネート委員会を設置したが、当初の目標よりノミネート委員会の推薦による応募者が集まらなかった。次回はより多くの応募者を募るため、業界関係者の方々にノミネーターとして優れたロボットの推薦をお願いする。ノミネーターの人数は10名程を想定している。

③次回より、「公共・特殊環境ロボット部門」の名称変更もあり、応募者がどの部門に該当するのか、また各部門において評価がどの基準によって行われるのかが分かりづらい。そのため、応募部門毎の対象ロボットを明示するほか、審査のポイントについても分かりやすく説明を行う。

推薦方法を刷新するノミネート委員会について、前回の狙いを説明しておくと、「5.2.1」節で述べた新設の「ロボットビジネス／社会実装部門」へのエントリー数の確保に加え、ロボット／RT を広義に解釈することで他分野との接点を持ち、「総合工学」および「総合技術」としてのロボットの影響力を拡大することにある。その着想は参考文献［9］にあり、ここでは「ロボット認定委員会」を設立し、明らかにロボット技術（RT）を実装する製品やシステムについては「ロボット」という名称の使用を許可する認定状を送付する考えが述べられている。そして、ロボット学会の拡大および総合工学としてのロボット学の確立への夢が語られていた。

ノミネート委員会の冒頭で、この文献を引用しつつ広義の解釈方法について議論をしようとしたが、時間の制約上、解釈の仕方にかかる各委員の意思統一を図ることができず、結果、各委員の感性および切り口で推薦するにとどまった。このような話題は一朝一夕で議論が収束するものではないことを踏まえ、次回のノミネート委員会では、まずは 10 名規模からなるノミネーターからそれぞれロボットを推薦してもらい、次に、各部門の主査（担当者）により精査と議論をしてもらい、これを通じて最終的に推薦するロボットを選定してもらう方法へと改める。推薦されるロボットの増加が見込まれるのはもちろん、各主査の精査を通じて各部門から推薦されるロボットに（主査の）明瞭な意図を込められると見込まれる。

【参考文献・媒体】

[1] (一社)日本ロボット工業会「産業動向レポート 2013」

[2] 三菱総合研究所, “設備の安全確保におけるシステムインテグレータの役割に関する調査”、2011 年.

[3]日本ロボット工業会、日本機械工業連合会, “平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書”, 2001.

[4]富士経済, “2013 ワールドワイドロボット市場の現状と将来展望”, 2013.

[5]小平紀生, “試練を迎える日本の産業用ロボット”, 中国総研, Vol.153, No.56, pp.9-16, 2011.

[6]横小路泰義, “次世代産業用ロボット開発のための最新技術動向”, 機械設計, Vol.57, No.11, pp18-22, 2013.

[7]ロボナブル編集部, “ロボット／RT の社会実装で「課題解決先進国」へ”, 2013.

[8]産業競争力懇談会 (COCN), “2013 年度プロジェクト中間報告・災害対応ロボットセンター設立構想”, 2013.

[9]広瀬茂男, “大衆工学としてのロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.2, pp.12-14, 2003.